

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**SISTEMA FUZZY DE SUPORTE A DECISÃO PARA APLICAÇÃO DE
PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SERRARIAS**

FERNANDO DE LIMA CANEPPELE

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Maio de 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**SISTEMA FUZZY DE SUPORTE A DECISÃO PARA APLICAÇÃO DE
PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SERRARIAS**

FERNANDO DE LIMA CANEPPELE

Orientador: Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia – Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Maio de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C221s Caneppele, Fernando de Lima, 1977-
Sistema fuzzy de suporte a decisão para aplicação de programa de eficiência energética em serrarias / Fernando de Lima Caneppele. - Botucatu : [s.n.], 2011
xiv, 160 f. : il. color., tabs., gráfs. color., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010
Orientador: Odivaldo José Seraphim
Inclui bibliografia

1. Eficiência energética. 2. Indústria da madeira.
3. Lógica fuzzy. I. Seraphim, Odivaldo José.
III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Janaina Celoto Guerrero - Bibliotecária - CRB-8 6456

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "SISTEMA FUZZY DE SUPORTE A DECISÃO PARA APLICAÇÃO
DE PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SERRARIAS"**

ALUNO: FERNANDO DE LIMA CANEPPELE

ORIENTADOR: PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM

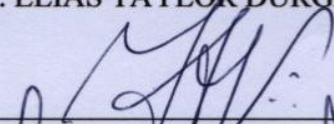
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM



PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO



PROF. DR. FELIX ABRAO NETO



PROF. DR. LUIS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO



PROF. DR. CELSO EDUARDO LINS DE OLIVEIRA

Data da Realização: 05 de maio de 2011.

Ao meu pai, Fernando Caneppele e,
à minha mãe, Olívia Maria de Lima Caneppele.
Obrigado pela vida e por todo amor, sempre...

OFEREÇO

A Langerton Neves da Cunha (*in memoriam*),
“Que os nossos corações sejam unidos para sempre...”

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, inteligência suprema e causa primeira de todas as coisas.

A minha família: meus pais, meus avôs e avós (*in memorian*), minhas irmãs, e meus sobrinhos, que sempre me apoiaram nas minhas realizações.

A minha companheira, Juliana, pela paciência, por todo amor, dedicação e por ter dado o melhor presente da minha vida: minha filha Thaís.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas - Unesp, Campus de Botucatu, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, ao Campus Experimental de Itapeva - Unesp, e ao Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade de realizar esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim, pela orientação e pelo apoio, em todos os sentidos, ao longo do período de realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves e ao Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza, pelas fundamentais explicações relacionadas à atividade industrial madeireira.

Ao Prof. Dr. Luis Francisco Cruz e ao Prof. Dr. Elias Taylor Durgante Severo, pelas correções e sugestões feitas em relação a este trabalho quando da etapa de qualificação.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, da Biblioteca e da Seção de Pós-Graduação, sempre muito atenciosos.

Aos demais amigos e amigas, pessoas importantes não citadas aqui, mas que fizeram parte desses anos especiais na UNESP agradeço pela amizade, pela convivência e troca de experiências.

SEMPRE QUE POSSÍVEL

Onde estejas e por onde passes, sempre que possível, deixa algum sinal de paz e luz para aqueles irmãos que estão vindo na retaguarda, a fim de que não se percam do rumo certo.

EMMANUEL / CHICO XAVIER

SUMÁRIO

| | Página |
|--|------------|
| LISTA DE TABELAS..... | x |
| LISTA DE FIGURAS..... | xii |
| 1. RESUMO | 1 |
| 1.1. SUMMARY | 3 |
| 2. INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 2.1. Objetivo Geral | 6 |
| 2.2. Objetivos Específicos | 7 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 8 |
| 3.1. A Indústria de Processamento da Madeira no Brasil..... | 8 |
| 3.1.1. Cobertura Florestal | 8 |
| 3.1.2. Setor Florestal..... | 12 |
| 3.1.3. O Processo de Produção da Madeira Serrada..... | 14 |
| 3.1.4. A Produção de Madeira Serrada de Pinus | 21 |
| 3.1.5. A Produção de Madeira Serrada de Eucalipto..... | 22 |
| 3.1.6. Resíduos do Processamento da Madeira | 23 |
| 3.2. Eficiência Energética..... | 26 |
| 3.2.1. A Eficiência Energética como Planejamento | 28 |
| 3.2.2. Consumo de Energia..... | 29 |
| 3.2.3. Selo Procel e Programas de Etiquetagem e Padronização..... | 32 |
| 3.2.4. Motores Elétricos..... | 34 |
| 3.2.5. Tarifação Industrial de Energia Elétrica..... | 35 |
| 3.2.6. Indicadores de Eficiência Energética | 37 |
| 3.3. Teoria Fuzzy | 46 |
| 3.3.1. Introdução..... | 46 |
| 3.3.2. Fundamentos Básicos | 48 |
| 3.3.3. Determinação dos Conjuntos Fuzzy | 49 |
| 3.3.4. Base de Regras | 52 |
| 3.3.5. Defuzzyficação | 52 |
| 3.3.6. Sistemas de Controle Fuzzy | 53 |
| 3.3.7. Aplicações de Sistemas de Controle Fuzzy..... | 55 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.8. | Programas Computacionais para Uso da Teoria Fuzzy..... | 55 |
| 4. | MATERIAL E MÉTODOS..... | 57 |
| 4.1. | Material..... | 57 |
| 4.1.1. | Localização da Área Experimental..... | 57 |
| 4.1.2. | Caracterização Geral das Serrarias | 59 |
| 4.1.3. | Caracterização Específica do Laboratório e das Serrarias..... | 65 |
| 4.1.4. | Equipamentos Utilizados..... | 76 |
| 4.1.5. | Simulações através de Programas Matemático-Computacionais | 78 |
| 4.2. | Métodos | 78 |
| 4.2.1. | Escolha das Serrarias, Visitas Técnicas e Coleta de Dados Gerais das Instalações | 80 |
| 4.2.2. | Caracterização do Processo Industrial | 80 |
| 4.2.3. | Caracterização do Consumo de Energia..... | 82 |
| 4.2.4. | Definição de Índices e Fatores de Eficiência Energética | 83 |
| 4.2.5. | Escolha das Variáveis do Sistema Fuzzy e Desenvolvimento do Sistema Fuzzy Gerencial e Tecnológico | 86 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 96 |
| 5.1. | Caracterizações Gerais para a Área Industrial Madeireira | 96 |
| 5.1.1. | Rendimento do Processamento da Madeira | 100 |
| 5.2. | Caracterização das Serrarias em Relação ao Uso da Energia Elétrica | 102 |
| 5.2.1. | Caracterização na Serraria B | 102 |
| 5.2.2. | Caracterização na Serraria C | 105 |
| 5.3. | Indicadores de Eficiência Energética na Indústria Madeireira..... | 112 |
| 5.3.1. | Consumo específico..... | 112 |
| 5.3.2. | Fator de Potência | 114 |
| 5.3.3. | Fator de Carga | 116 |
| 5.3.4. | Fator de Demanda..... | 118 |
| 5.3.5. | Síntese dos Indicadores das Serrarias..... | 120 |
| 5.4. | Sistemas Fuzzy Gerencial e Tecnológico..... | 122 |
| 5.4.1. | Estudo de Caso Utilizando o Sistema de Suporte Fuzzy Gerencial | 134 |
| 5.4.2. | Estudo de Caso Utilizando o Sistema de Suporte Fuzzy Tecnológico..... | 136 |
| 5.4.3. | Análise das Serrarias Utilizando os Sistemas de Suporte Gerencial e Tecnológico..... | 139 |

| | |
|---|------------|
| 5.4.4. Síntese dos Indicadores | 143 |
| 6. CONCLUSÕES | 145 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 147 |
| APÊNDICE | 155 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|--|---------------|
| Tabela 01. Áreas plantadas com pinus e eucalipto no Brasil [ha]. | 9 |
| Tabela 02. Cobertura florestal brasileira. | 9 |
| Tabela 03. Demanda de madeira em toras no Brasil – milhões de m ³ - em 2000. | 16 |
| Tabela 04. Preços para tarifas azul, verde e convencional. | 37 |
| Tabela 05. Dados de produção da Serraria A. | 67 |
| Tabela 06. Dados da fatura de energia da Serraria A. | 67 |
| Tabela 07. Dados de produção da Serraria B. | 69 |
| Tabela 08. Dados da fatura de energia da Serraria B. | 69 |
| Tabela 09. Dados de produção da Serraria C. | 71 |
| Tabela 10. Dados da fatura de energia da Serraria C. | 71 |
| Tabela 11. Dados de produção da Serraria D. | 73 |
| Tabela 12. Dados da fatura de energia da Serraria D. | 73 |
| Tabela 13. Dados de produção da Serraria E. | 75 |
| Tabela 14. Dados da fatura de energia da Serraria E. | 75 |
| Tabela 15. Resumo dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy na parte gerencial. | 89 |
| Tabela 16. Resumo dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy na parte tecnológica. | 90 |
| Tabela 17. Nomenclatura para os conjuntos fuzzy de entrada da parte gerencial PEE, MAN e TEC e de saída POS. | 92 |
| Tabela 18. Nomenclatura para os conjuntos fuzzy de entrada da parte tecnológica FP, FC, FD e ID e saída EE. | 92 |
| Tabela 19. Características do processamento de madeira das serrarias. | 97 |
| Tabela 20. Resíduos gerados, preços e destinação. | 98 |
| Tabela 21. Consumo médio de madeira bruta, madeira serra e rendimentos médios do processamento da madeira. | 101 |
| Tabela 22. Dados elétricos da potência ativa trifásica total de energia elétrica na Serraria B. | 103 |
| Tabela 23. Dados elétricos da potência ativa trifásica total de energia elétrica na Serraria C. | 106 |
| Tabela 24. Dados da potência ativa trifásica de energia elétrica na serra de fita vertical na Serraria C. | 107 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 25. Dados da potência ativa trifásica de energia elétrica no picador na Serraria C.... | 109 |
| Tabela 26. Consumos específicos médios mensais. | 113 |
| Tabela 27. Fator de potência médio mensal. | 114 |
| Tabela 28. Fator de carga médio mensal. | 116 |
| Tabela 29. Fator de demanda médio mensal | 119 |
| Tabela 30. Comparação dos rendimentos, índices e fatores médios das serrarias. | 120 |
| Tabela 31. Comparação dos rendimentos, índices e fatores médios das serrarias através dos sistemas de suporte fuzzy. | 143 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 01. Concentração de áreas reflorestadas no Estado de SP. | 10 |
| Figura 02. Concentração de áreas reflorestadas na região administrativa de Sorocaba. | 11 |
| Figura 03. Pólo de reflorestamento Itapeva / Capão Bonito / Buri. | 11 |
| Figura 04. Cadeia produtiva do setor de madeira processada mecanicamente. | 15 |
| Figura 05. Fluxograma esquemático de obtenção de madeira serrada. | 18 |
| Figura 06. Serra utilizada no processamento da madeira passando pelo processo de afiação em serraria na região de Itapeva/S.P. | 21 |
| Figura 07. Acúmulo do resíduo cavaco em serraria na região de Itapeva/SP. | 24 |
| Figura 08. Acúmulo do resíduo pó-de-serra em serraria na região de Itapeva/SP. | 24 |
| Figura 09. Triângulo retângulo de potência..... | 40 |
| Figura 10. Estrutura geral de um sistema de inferência fuzzy. | 49 |
| Figura 11. Formas trapezoidal e triangular dos conjuntos fuzzy..... | 50 |
| Figura 12. Aplicação do método de fuzzyficação do Centro dos Máximos..... | 53 |
| Figura 13. Esquema básico de um fuzzy..... | 54 |
| Figura 14. Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva..... | 58 |
| Figura 15. Mesa de entrada das toras instalada na Serraria C. | 59 |
| Figura 16. Serra de fita vertical simples e quadro geral da Serraria C. | 60 |
| Figura 17. Serra de fita vertical geminada no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva..... | 60 |
| Figura 18. Vista interna da serra de fita vertical geminada. | 61 |
| Figura 19. Serra multilâminas à direita e serra de fita horizontal à esquerda na Serraria C. | 62 |
| Figura 20. Serra multilâminas no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva. | 62 |
| Figura 21. Vista interna da serra multilâminas..... | 63 |
| Figura 22. Serra de fita horizontal na Serraria C..... | 63 |
| Figura 23. Processo de afiação de serra no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva..... | 64 |
| Figura 24. Estoque de serras de reposição no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva..... | 64 |
| Figura 25. Lay-out e panorama do Laboratório de Processamento da Madeira – C.E. Itapeva/UNESP..... | 65 |
| Figura 26. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria A. | 66 |

| | |
|--|-----|
| Figura 27. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria B. | 68 |
| Figura 28. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria C. | 70 |
| Figura 29. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria D. | 72 |
| Figura 30. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria E. | 74 |
| Figura 31. Analisador Portátil Saga 4500..... | 76 |
| Figura 32. Fluxograma de desenvolvimento da metodologia..... | 79 |
| Figura 33. Etapas da modelagem fuzzy..... | 88 |
| Figura 34. Função de pertinências associada à variável de entrada “práticas de eficiência energética” | 93 |
| Figura 35. Estoque de madeira bruta da Serraria C..... | 96 |
| Figura 36. Madeira em processo em secagem..... | 97 |
| Figura 37. Pó-de-serra acumulado durante o processamento da madeira. | 99 |
| Figura 38. Pó-de-serra e ao fundo a madeira processada. | 99 |
| Figura 39. Comparação entre os dados médios mensais das serrarias pesquisadas. | 100 |
| Figura 40. Rendimentos mensais do processamento da madeira das serrarias. | 100 |
| Figura 41. Rendimentos médios mensais do processamento da madeira..... | 101 |
| Figura 42. Analisador Portátil Saga 4500 ligado em rede trifásica junto à entrada de energia na Serraria B..... | 104 |
| Figura 43. Potência ativa trifásica e fator de potência médio ao longo do dia na Serraria B.. | 104 |
| Figura 44. Vistas do Analisador Portátil Saga 4000 e o Alicata Wattímetro Digital MINIPA ET-4090 ambos ligados junto à entrada de energia da Serraria C..... | 105 |
| Figura 45. Serra de fita vertical e quadro de distribuição na Serraria C..... | 108 |
| Figura 46. Potência ativa trifásica e fator de potência total, com vista ampliada. | 110 |
| Figura 47. Potência ativa trifásica e fator de potência na serra de fita vertical, com vista ampliada. | 111 |
| Figura 48. Potência ativa trifásica e fator de potência no picador, com vista ampliada. | 111 |
| Figura 49. Consumo específico mensais das serrarias. | 112 |
| Figura 50. C | 113 |
| Figura 51. Fator de potência mensal das serrarias..... | 114 |
| Figura 52. Fator de potência médio mensal das serrarias..... | 115 |
| Figura 53. Fator de carga fora de ponta mensal nas serrarias..... | 116 |
| Figura 54. Fator de carga fora de ponta médio mensal nas serrarias..... | 117 |
| Figura 55. Fator de carga de ponta nas serrarias. | 117 |

| | |
|--|-----|
| Figura 56. Fator de demanda mensal nas serrarias..... | 119 |
| Figura 57. Fator de demanda médio mensal nas serrarias..... | 119 |
| Figura 58. Resumo do sistema de suporte fuzzy gerencial. | 123 |
| Figura 59. Resumo do sistema de suporte fuzzy tecnológico. | 124 |
| Figura 60. Tela inicial e de configuração básica do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB para o sistema gerencial..... | 125 |
| Figura 61. Tela inicial e de configuração básica do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB para o sistema tecnológico. | 125 |
| Figura 62. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de entrada para o sistema gerencial..... | 126 |
| Figura 63. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de saída para o sistema gerencial..... | 127 |
| Figura 64. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de entrada para o sistema tecnológico..... | 127 |
| Figura 65. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de saída para o sistema tecnológico..... | 128 |
| Figura 66. Base de regras para o sistema de suporte gerencial. | 129 |
| Figura 67. Base de regras para o sistema de suporte tecnológico. | 129 |
| Figura 68. Superfície de resposta para o sistema de suporte gerencial(MAN=pouca)..... | 130 |
| Figura 69. Superfície de resposta para o sistema de suporte gerencial (MAN=média). | 131 |
| Figura 70. Superfície de resposta para o sistema de suporte gerencial (MAN=boa). | 131 |
| Figura 71. Superfície de resposta para o sistema de suporte tecnológico (FD=baixo e CE=médio). | 132 |
| Figura 72. Superfície de resposta para o sistema de suporte tecnológico (FD=médio e CE=médio). | 133 |
| Figura 73. Superfície de resposta para o sistema de suporte tecnológico (FD=bom e CE=médio). | 133 |
| Figura 74. Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy gerencial. Variáveis de entrada e de saída. 1 - Valor numérico de saída (25,5) | 134 |
| Figura 75. Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy gerencial. Variável de saída e significado do valor numérico de saída (25,5). | 135 |
| Figura 76. Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy tecnológico. Variáveis de entrada e de saída. 1 - Valor numérico de saída (65,7) | 137 |
| Figura 77. Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy tecnológico. Variável de saída e significado do valor numérico de saída (65,7). | 138 |

1. RESUMO

O setor florestal tem uma evidente importância sobre diversas áreas, entre elas a econômica, a social e a ambiental, que trazem progresso e desenvolvimento para o Brasil. Para tanto, há a necessidade da implantação de programas de eficiência energética nas empresas que processam a madeira oriunda deste setor.

Para a realização deste trabalho, foram selecionadas e caracterizadas 05 serrarias que atuam no processamento de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, localizadas na região de Itapeva, município do centro-oeste do Estado de São Paulo. Esta caracterização foi necessária para gerar conhecimentos que auxiliem na análise de índices de eficiência energética e propor o uso de outros índices na indústria de processamento da madeira. Para esta discussão são utilizados conceitos da lógica fuzzy, com tomada de decisão e resposta sobre estes índices.

As análises, estudos e simulações, podem ser utilizados para a implantação de um programa de conservação de energia elétrica. Elas podem ser parte do diagnóstico energético, onde são feitas a avaliação de utilização de energia elétrica, a análise do fator de potência, do fator de carga e do fator de demanda, o enquadramento tarifário e a análise das demandas contratadas junto à concessionária de distribuição de energia elétrica.

Os dados da caracterização foram discutidos e comparados com dados anteriormente calculados em trabalhos na mesma área. Os índices de eficiência energética e

fatores verificados foram próximos aos estabelecidos em pesquisas anteriores e dados fornecidos pela concessionária como característicos desta atividade industrial e podem ser utilizados para futuras referências e diagnósticos energéticos.

Com as informações geradas e ferramentas desenvolvidas, podem ser desenvolvidos programas de conservação de energia e de eficiência energética na área industrial madeireira com aplicação ampla nesta área que é tão diversificada quanto aos processos produtivos.

Para a análise da eficiência energética foi utilizado um sistema de suporte à decisão baseado na lógica fuzzy. A justificativa do uso de um sistema baseado na teoria fuzzy para análise dos consumos específicos e dos fatores envolvidos, está na diversidade de tais índices/fatores. Com a teoria fuzzy, pode-se construir um sistema confiável para a verificação real da eficiência energética.

A utilização da teoria fuzzy para a construção de um sistema de análise automática de indicadores de desempenho de eficiência energética foi satisfatória. O desenvolvimento de uma ferramenta matemática-computacional confiável para uso e aplicação da eficiência energética na indústria madeireira foi verificado através das simulações do sistema proposto.

FUZZY SYSTEM FOR DECISION SUPPORT FOR IMPLEMENTATION OF ENERGY EFFICIENCY PROGRAM IN SAWMILLS

Botucatu, 2011. 155 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FERNANDO DE LIMA CANEPPELE

Adviser: ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM

1.1. SUMMARY

The forestry sector has a great importance on several areas, including the economic, social and environmental, that bring progress and development in Brazil. For both, there is the need to implement energy efficiency programs in companies that process timber originating from this sector.

For this study, 05 were selected and assigned to work in sawmills processing *Pinus elliotti* and *Pinus taeda*, located in the region of Itapeva, midwestern city of Sao Paulo. This characterization was needed to generate knowledge to assist in the analysis of levels of energy efficiency and propose the use of other indexes in the wood processing industry. For this discussion are used fuzzy logic concepts, with decision making and response on these indices.

Analyses, studies and simulations, can be used to implement a program to conserve electricity. They can be part of the energy diagnosis, which are made to evaluate the use of electricity, the analysis of power factor, load factor and demand factor, the charging system and analysis of the demands contracted with the utility distribution electricity.

The characterization data are discussed and compared with data previously measured in studies in the same area. The energy efficiency ratings and risk factors evaluated were close to those established in previous research and data provided by the concessionaire as characteristic of this industrial activity and can be used for future reference and diagnostic work.

With the information generated and developed tools, programs can be developed for energy conservation and energy efficiency in industrial timber with broad application in this area that is as diverse as the production processes.

For the analysis of energy efficiency was used a decision support system based on fuzzy logic. The justification of using a system based on fuzzy theory to analyze the specific consumption and the factors involved, it's is the diversity of these indices / factors. With the fuzzy theory, we can build a reliable system for verifying actual energy efficiency.

Using the fuzzy theory to construct a system of automatic analysis of performance indicators for energy efficiency have been satisfactory. The development of a reliable mathematical tool for computer-use and application of energy efficiency in the timber industry was verified through simulations of the proposed system.

Keywords: wood industry, energy efficiency, fuzzy logic

2. INTRODUÇÃO

No Brasil a madeira de florestas plantadas, especialmente eucalipto e pinus, constituem a fonte mais importante de matéria-prima para os diversos usos industriais.

As perspectivas de utilização de madeira são boas e continuam promissoras, desenvolvendo e ampliando uma grande gama de usos para a madeira de forma competitiva e com agregação de valores ambientais, sociais e econômicos.

Como qualquer processo industrial, a produção da madeira serrada tem um consumo de energia significativo, principalmente pelo uso de motores elétricos em suas plantas industriais de processamento.

De modo geral, verifica-se que as instalações elétricas em serrarias são precárias e feitas de modo provisório, ocasionando desperdícios de energia elétrica e riscos aos trabalhadores, não havendo acompanhamento da quantidade de energia consumida, de fatores e índices. Apenas o valor financeiro a fatura é considerado, sem qualquer análise de consumo. Assim, é de fundamental importância que a utilização da energia seja eficiente e otimizada, tanto visando à redução de custos, quanto à preservação do meio ambiente.

Além disso, está sendo verificado no Brasil um aumento ano a ano do consumo de energia elétrica e com a retomada do crescimento econômico, a preocupação com a disponibilidade de energia cresce cada vez mais.

Para a implementação de um programa de eficiência energética, índices devem ser estabelecidos de forma a proporcionar o melhor controle do consumo de energia e água, com redução de custos operacionais correlatos e com isso minimizar contingenciamentos no suprimento desses insumos.

A aplicação da efficientização energética em diversos setores de nossa sociedade é uma prática que deve ser considerada essencial nos dias atuais.

Na área industrial, a efficientização energética pode trazer significativa redução de custos, bem como aumento no rendimento energético de equipamentos e instalações, com a conseqüente melhoria da qualidade dos produtos fabricados.

O estabelecimento dos índices mínimos de eficiência energética pode ser feito com abordagens básicas utilizando-se, por exemplo, a estatística e a engenharia. Uma vez estabelecidos estes índices tem-se então um processo de tomada de decisão.

Neste contexto a teoria fuzzy tem grande aplicação, uma vez que provê um método de traduzir expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana em uma forma compreensível pelos computadores.

Assim, a tecnologia possibilitada pela lógica fuzzy tem um imenso valor prático, na qual se torna possível a inclusão da experiência de operadores humanos, os quais controlam processos e plantas industriais, em sistemas de suporte computadorizados, possibilitando estratégias de tomadas de decisão em problemas complexos.

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver dois sistemas – um gerencial e um tecnológico - de apoio a análise e tomada de decisões baseados em lógica fuzzy, que permitam verificar e acompanhar medidas de efficientização energética. Estabelecer procedimentos técnicos e gerenciais que possibilitem o diagnóstico energético para a implementação de programa de eficiência energética voltado para empresas do setor industrial madeireiro.

2.2. Objetivos Específicos

Verificar o rendimento do processamento de madeira, considerando madeira bruta, madeira serrada e resíduos gerados.

Caracterizar o perfil de consumo de energia elétrica nas serrarias, indicando pontos falhos e possíveis ações de melhoria.

Estabelecer índices e fatores que devem ser considerados em projetos de eficiência energética, tais como fator de carga, fator de demanda, fator de potência e consumos específicos, para referências futuras na área industrial madeireira.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão está descrita sobre as atividades da indústria madeireira no Brasil, com suas principais características, tópicos de eficiência energética em termos do consumo de energia elétrica e lógica fuzzy e seus principais conceitos.

3.1. A Indústria de Processamento da Madeira no Brasil

O setor florestal tem uma evidente importância sobre diversas áreas, entre elas a econômica, a social e a ambiental. Em nosso país, a madeira de florestas plantadas, especialmente eucalipto e pinus, constituem a fonte mais importante de matéria-prima para os diversos usos industriais.

3.1.1. Cobertura Florestal

Segundo ABRAF (2009), as áreas de reflorestamentos no Brasil correspondem a 6.126.000 ha, sendo 4.258.704 ha de florestas de pinus 1.868 ha de eucalipto. Os Estados detentores das maiores reservas de madeira plantada são os Estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná que juntos compreendem 55,87% de toda a área de plantios econômicos do Brasil.

Na Tabela 01 pode-se observar a distribuição das áreas plantadas de pinus e eucaliptos em determinados Estados.

Tabela 01. Áreas plantadas com pinus e eucalipto no Brasil [ha].

| <i>Estado</i> | <i>Eucalipto (ha)</i> | <i>Pinus (ha)</i> | <i>Total (ha)</i> |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Amapá | 63.309 | 1.620 | 64.929 |
| Bahia | 587.606 | 35.090 | 622.696 |
| Espírito Santo | 210.409 | 3.991 | 214.399 |
| Mato Grosso do Sul | 265.254 | 18.797 | 284.051 |
| Minas Gerais | 1.278.212 | 145.000 | 1.423.212 |
| Pará | 136.294 | 11 | 136.305 |
| Paraná | 142.434 | 714.893 | 857.328 |
| Rio Grande do Sul | 277.316 | 173.163 | 450.480 |
| Santa Catarina | 77.436 | 551.219 | 628.655 |
| São Paulo | 934.360 | 207.840 | 1.142.199 |
| Goiás | 56.881 | 15.198 | 72.079 |
| Mato Grosso | 58.580 | 7 | 58.587 |
| Maranhão | 111.117 | - | 111.117 |
| Outros | 59.496 | 850 | 60.346 |
| Total | 4.258.704 | 1.867.680 | 6.126.384 |

Fonte: (ABRAF, 2009).

Tabela 02. Cobertura florestal brasileira.

| <i>Tipo</i> | <i>Área (1.000 ha)</i> | <i>Participação (%)</i> |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| Nativa | 543.905 | 99 |
| Plantada¹ | 5.744 | 1 |
| Total | 549.649 | 100 |

(¹ Florestas plantadas com pinus, eucalipto e outras espécies.)

Fonte: (ABIMCI, 2007).

De acordo com ABIMCI (2007), o território brasileiro, com 846 milhões de hectares, possuía aproximadamente 544 milhões de hectares de florestas nativas e 5,7 milhões com florestas plantadas, formando o ecossistema florestal do Brasil, conforme evidencia a Tabela 02.

A exploração das florestas nativas tem sido realizada de forma largamente predatória, visto que a adoção do manejo florestal é recente e ainda representa uma pequena fração de toda a produção das matas nativas do Brasil (ABIMCI, 2007).

Para ABRAF (2009), a possibilidade de renovação da madeira, desde que seja originária de florestas plantadas e manejadas corretamente, diferentemente da atividade exploratória das reservas de florestas nativas, é uma das suas principais características favoráveis.

As florestas brasileiras caracterizam-se por sua diversidade biológica, englobando diferentes biomas e a ocorrência de espécies de alto valor econômico, cultural e ecológico (ABIMCI, 2004a).

De acordo com Kronka *et al.*(2002), citado por Barbosa (2003), no Estado de São Paulo, de acordo com dados provenientes de imagens orbitais existem hoje 770.010 hectares de florestas plantadas, o que corresponde a 3,1% da área total conforme mostrado na Figura 01.

A Figura 02 ilustra a concentração de áreas reflorestadas na Região Administrativa de Sorocaba e a seguir a região de estudo pertencente ao Pólo de Reflorestamento de Itapeva / Capão Bonito / Buri, ilustrado na Figura 03 (BARBOSA, 2003).

Dados obtidos junto ao Sindicato Intermunicipal de Itapeva da Indústria Beneficiadora de Madeira estimam em 156 as empresas ligadas de alguma maneira à área industrial madeireira, sejam elas fornecedoras de matéria-prima, indústrias de processamento industrial da madeira, empresas de venda e manutenção de equipamentos, empresas de transporte ligadas a atividade, entre outros.

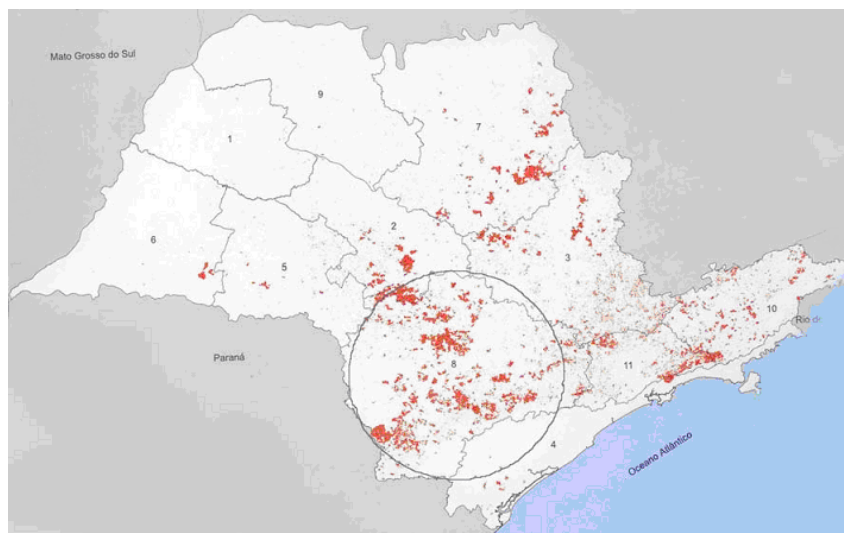


Figura 01. Concentração de áreas reflorestadas no Estado de SP.

Fonte: (Kronka *et al.*, 2002)

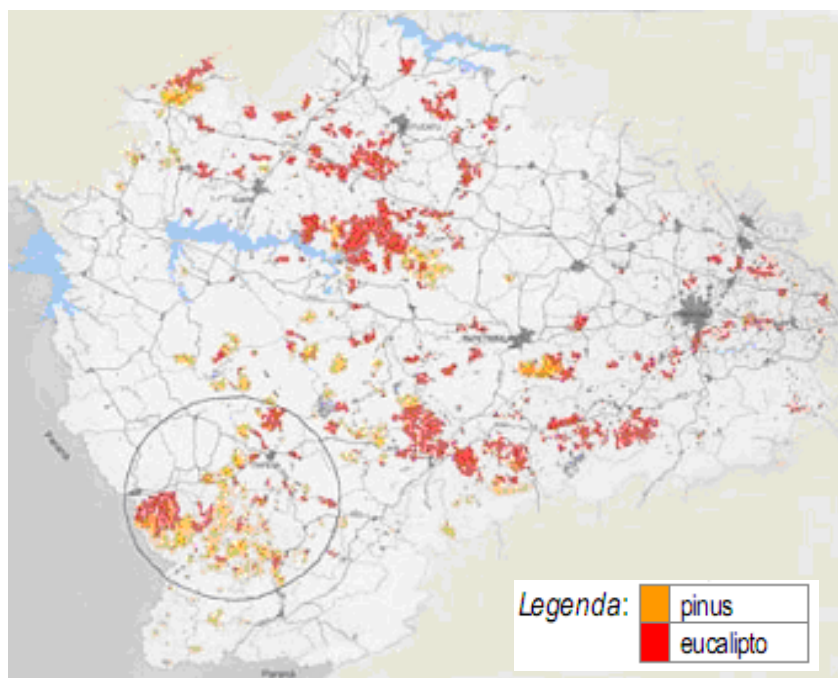


Figura 02. Concentração de áreas reflorestadas na região administrativa de Sorocaba.

Fonte: (Kronka *et al.*, 2002)

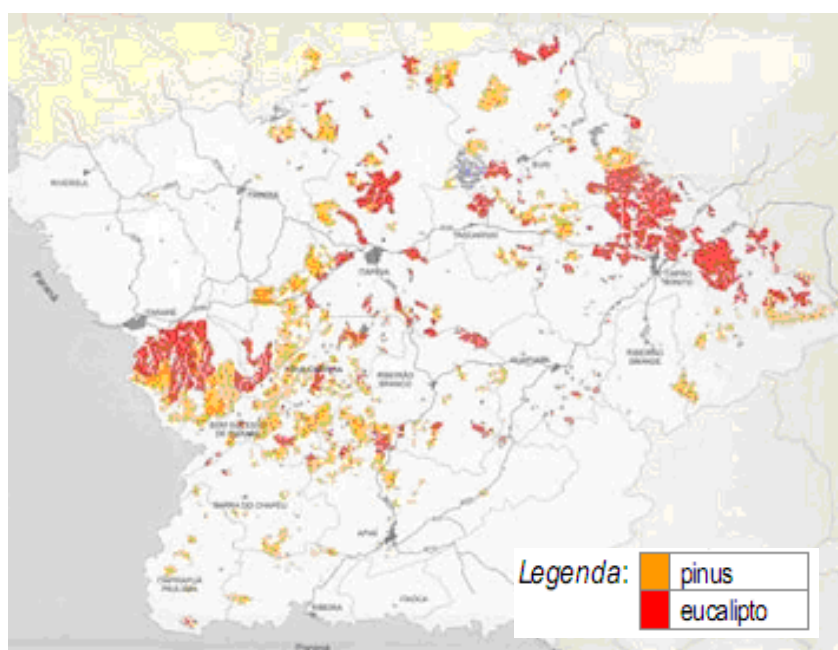


Figura 03. Pólo de reflorestamento Itapeva / Capão Bonito / Buri.

Fonte: (Kronka *et al.*, 2002).

Entre os anos de 2009 e 2010 foi realizado um novo inventário da concentração de áreas reflorestadas no Estado de São Paulo, através do Instituto Florestal. Após sua publicação, prevista para 2011, será possível verificar em quais regiões administrativas ocorreram variações das áreas reflorestadas.

3.1.2. Setor Florestal

Com a provável escassez das madeiras de lei (madeiras duras, apropriadas à construção civil, que têm os atributos de durabilidade e resistência) provenientes da Mata Atlântica e Floresta Amazônica, pela expansão das fronteiras agrícolas, exploração predatória e inexistência de um plano de manejo sustentado, vem-se abrindo um amplo mercado para utilização de madeiras de reflorestamento, como aquelas de plantios de pinus e eucalipto (MENDES & ALBUQUERQUE, 2000).

Para Calil Júnior (2002), o atendimento da demanda do mercado por madeira serrada para ser utilizado na construção civil, nas regiões Sul e Sudeste, dada a exaustão das florestas nativas destas regiões, tem como principal fonte de abastecimento as florestas naturais remanescentes localizadas nas regiões Centro-Oeste e Norte do País. No entanto, a obtenção de matéria-prima oriunda dessas regiões está cada vez mais difícil considerando os elevados custos de transporte e das recomendações de exploração com manejo florestal. Uma importante fonte alternativa disponível são as madeiras advindas de florestas cultivadas, localizadas nas próprias regiões Sul e Sudeste.

Diante dessa tendência e de acordo com a ABINCI (2007), o desenvolvimento sustentável do setor florestal tem uma evidente importância sobre diversas áreas, entre elas a econômica, a social e a ambiental, que trazem progresso e desenvolvimento para o Brasil.

a) Contribuições Econômicas:

- Geração de produtos e subprodutos para a construção civil, movelaria, embalagens, setores químico, alimentício e energético (de forma sustentável e com o menor impacto sobre o meio ambiente);
- Atração de investimentos;

- Recolhimento de impostos;
- Geração de divisas (balança comercial / exportações);
- Valorização da terra;

b) Contribuições Sociais:

- Geração de empregos;
- Educação ambiental para a produção de consciência conservacionista;
- Manutenção das populações indígenas e de quilombolas em suas áreas de origem;
- Pesquisa científica;
- Aumento da renda de comunidades (manejo florestal);
- Elevação do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH;
- Fixação do homem no campo (redução do êxodo rural);
- Aumento da produtividade do trabalhador florestal;
- Treinamento para maior conhecimento e ascensão profissional;

c) Contribuições Ambientais:

- Manutenção do equilíbrio dos ecossistemas naturais;
- Fonte de biodiversidade e contribuição para sua manutenção;
- Regulação do clima global;
- Conservação dos recursos hídricos
- Proteção da biodiversidade e dos ecossistemas florestais (conservação da fauna e flora);
- Redução no nível de desmatamento ilegal;
- Manejo sustentável das florestas (certificação);
- Redução do impacto sobre as florestas nativas através das florestas plantadas;
- Regularização dos fluxos de água para evitar erosão.

Ainda em relação às contribuições ambientais, a produção da madeira com a absorção de gás carbônico da atmosfera tem dado incentivo à elaboração de projetos incluindo o plantio florestal como forma de equilibrar as emissões ao meio ambiente (YUBA, 2001).

Segundo ABIMCI (2004a), no Brasil, a madeira de florestas plantadas, especialmente *eucalipto* e *pinus*, constituem a fonte mais importante de matéria-prima para os diversos usos industriais. As perspectivas de utilização dessa madeira são uma realidade e continuam promissoras, desenvolvendo e ampliando uma grande gama de usos para a madeira de forma competitiva e com agregação de valores ambientais, sociais e econômicos.

Da mesma forma, o setor da indústria de madeira processada mecanicamente traz importantes contribuições para o cenário sócio-econômico-ambiental brasileiro (ABIMCI, 2004a).

3.1.3. O Processo de Produção da Madeira Serrada

O setor florestal pode ser subdividido em dois grandes grupos de produtos (ABIMCI, 2004a):

- Não madeireiros;
- Madeireiros.

No primeiro grande grupo podem-se destacar produtos tais como frutas, óleos, resinas, mel, bambu, entre outros. Por outro lado, o segmento dos produtos madeireiros abrange os produtos de madeira processada mecanicamente, celulose e papel, painéis reconstituídos, dentre outros.

Através da Figura 04 é possível observar a cadeia produtiva do setor de madeira processada mecanicamente. É possível observar a variada gama de produtos oriundos da indústria de madeira processada mecanicamente, os quais são fabricados com a utilização das mais diversas espécies florestais.

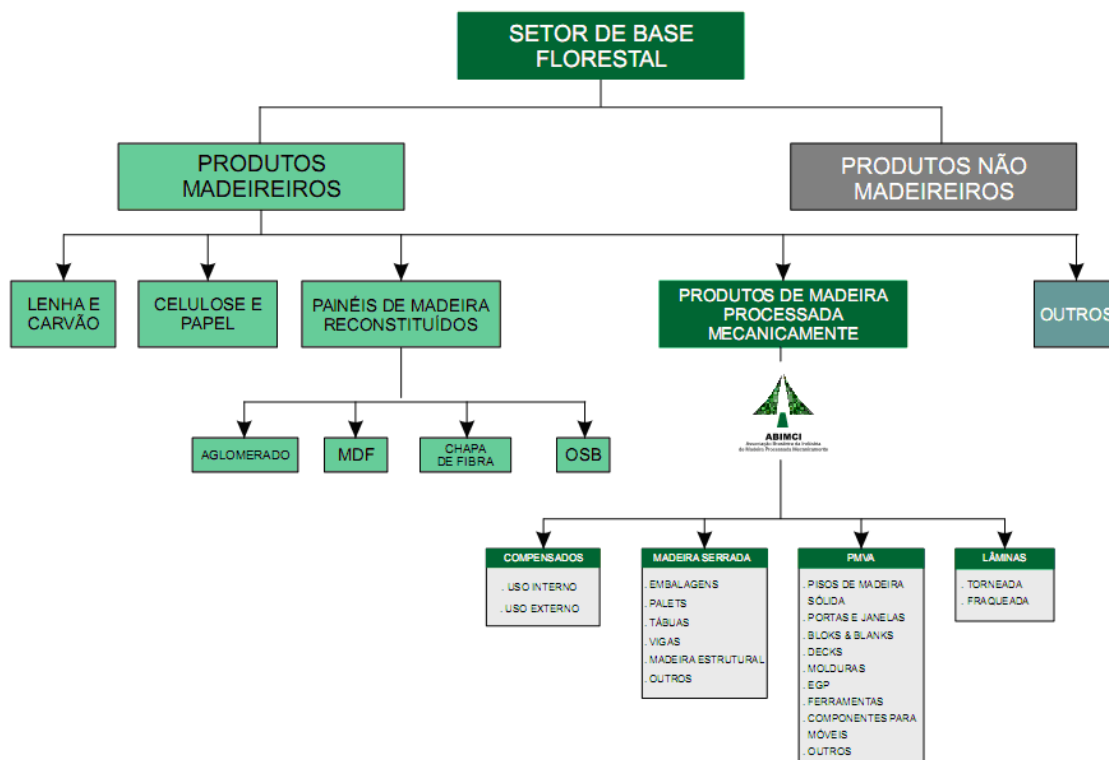


Figura 04. Cadeia produtiva do setor de madeira processada mecanicamente.

Fonte: (ABIMCI, 2004a).

Segundo Fagundes (2003), o processamento da madeira no Brasil está relacionado diretamente com as espécies florestais utilizadas associados aos produtos produzidos. Para tanto, este processamento pode ser dividido em três grandes grupos de empresas, quais sejam: aquelas que se ocupam com as madeiras nativas da região Norte do Brasil; aquelas que processam a madeira de *pinus*, localizadas em sua maioria no Sul do Brasil e aquelas que têm na madeira de *eucalipto* a matéria-prima, estas localizadas principalmente no Sudeste do Brasil. Os produtos florestais dos grupos, listados na Tabela 03, estão assim relacionados:

- O primeiro grupo está voltado para a extração de madeiras nativas nobres do Norte do Brasil, utilizada para serrados, manufaturados e painéis tipo compensado laminado. Estes produtos são voltados para o mercado externo e para o abastecimento da indústria da construção civil no Sul e Sudeste. Caracteriza-se, ainda por não possuir atividade de reflorestamento e, apesar de sua localização na Região Norte, as serrarias

que processam esta madeira são originárias das regiões sul e sudeste do país ou estão associadas a unidades beneficiadoras localizadas nesta região;

- O segundo grupo se ocupa com a transformação da madeira do gênero *pinus* em produtos serrados, compensados e painéis de madeira aglomerada. Estes produtos são utilizados principalmente pela indústria de móveis e internamente ou em usos menos nobres pela indústria da construção civil. Soma-se a estes produtos, mas em menor quantidade, a produção de celulose de fibra longa;

- Um terceiro grupo cuja matéria prima principal é o Eucalipto. A madeira do gênero *eucalyptus* é a matéria-prima principal das indústrias de celulose e papel, para a fabricação de painéis tipo chapa dura, de carvão vegetal, de postes para rede de energia elétrica e telefônica e, em menor percentual, de painéis aglomerados, madeira para indústria de embalagens e moveleira. A utilização na construção civil ainda é incipiente, mas de maneira crescente, visando a substituição das chamadas madeiras mais nobres.

Tabela 03. Demanda de madeira em toras no Brasil – milhões de m³ - em 2000.

| <i>Produtos</i> | <i>Pinus</i> | <i>Eucalipto</i> | <i>Tropical / Nativas</i> | <i>Total</i> |
|----------------------------|--------------|------------------|---------------------------|--------------|
| celulose | 10,2 | 30,4 | - | 40,6 |
| exportação | 0,4 | 0,4 | - | 0,8 |
| madeira serrada | 16,9 | 1,4 | 32,4 | 50,8 |
| compensado, lâminas | 2,4 | 0,5 | 2,6 | 5,6 |
| painéis ou chapas: | | | | |
| MDF | 1,1 | - | - | - |
| chapa dura | - | 2,0 | - | 2,0 |
| aglomerado | 2,4 | 0,5 | - | 2,6 |
| carvão vegetal | - | 25,2 | 18,3 | 43,5 |
| total | 33,2 | 60,5 | 53,4 | 147 |

Fonte: (Klabin, ABIMCI, ABRACAVE, BRACELPA apud NETO, 2002).

O crescimento em importância do setor florestal e a posterior exaustão das florestas de pinheiro-brasileiro acabaram por catalisar o desenvolvimento de técnicas e processos de utilização da madeira (FAGUNDES, 2003).

Hoje, no entanto, uma exigência se impõe: a revisão nos rumos do ensino e das pesquisas na área, de modo a atender as novas e crescentes demandas da indústria. Atualmente cerca de 70% da madeira consumida pela indústria brasileira, conforme a Tabela 03 é proveniente de reflorestamentos, o que representa uma alteração substancial em relação aos anos 60, quando praticamente toda a matéria-prima era proveniente de florestas nativas. A madeira de florestas nativas utilizada na indústria é praticamente toda originária da região amazônica (TOMASELLI, 2000).

Para Mendes e Albuquerque (2000), a utilização de madeiras de rápido crescimento traz um aspecto ecológico positivo, pois reduz a pressão sobre as florestas nativas, uma vez que as madeiras de rápido crescimento proporcionam ciclos de corte em períodos de tempo bem menores, além de produzir madeira com características homogêneas, o que aumenta o rendimento durante o processamento

Segundo Tomaselli (2000), para a indústria de madeira sólida, os reflorestamentos de *pinus* são a mais importante fonte de matéria-prima. A madeira de *eucalipto*, por sua vez, vem ganhando espaço, com volumes substanciais sendo usados em painéis reconstituídos. Na indústria de serrados e laminados, o gênero *eucalyptus* está apenas iniciando a sua penetração.

De acordo com Ponce (1993), a indústria madeireira, por necessitar de investimentos relativamente baixos, por gerar muitos empregos diretos e indiretos, e por requerer tecnologia relativamente simples, tem grande vocação para o desenvolvimento no país.

O tipo de matéria prima - nativa ou plantada - determina variações na qualidade do produto final e no processo produtivo. O fluxo básico do processamento industrial de madeira de *pinus* e seus desdobramentos são mostrados na Figura 05.

As principais etapas são: obtenção da madeira em toras e transporte, chegada na indústria, descascamento, desdobro principal, refilos, e gradeamento e secagem (ABIMCI, 2004b).

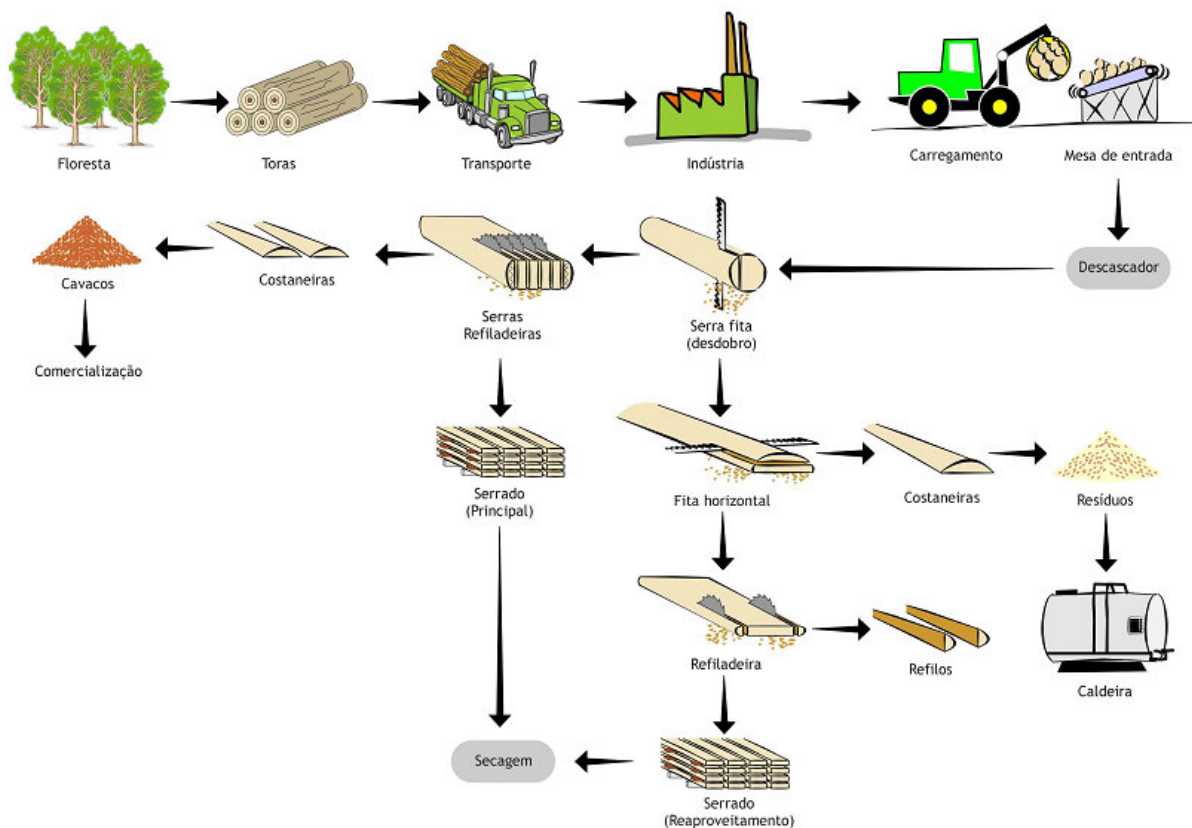


Figura 05. Fluxograma esquemático de obtenção de madeira serrada.

Fonte: (ABIMCI, 2004b).

As serrarias são empreendimentos cada vez mais importantes, pois agregam valor ao produto emergente da base florestal por meio do desdobro da madeira, sem o qual o aproveitamento para as etapas seguintes da cadeia de produção seria difícil.

Gonçalves (2000) classifica os processos de usinagem da madeira em abate, descascamento, desdobro, laminação, produção de partículas e beneficiamento. Cada um desses processos é formado por diversas operações, as quais definem o trabalho de transformação da forma da madeira num determinado processo, como por exemplo, as operações de corte, seja com uma serra de fita na serraria ou com uma seccionadora na indústria de móveis seriados.

Moraes (2007) atribui somente quatro etapas características dos processos que configuram uma empresa de beneficiamento de madeira como serraria, a saber: desdobro, destopo, imunização e classificação. Apesar dessa de tal caracterização

ser em si mesmo rasa, não obstante é a mínima necessária para que se possa delimitar qual seja o escopo de funcionamento de tais organizações.

Para ABIMCI (2003), o rendimento da matéria-prima (toras) em madeira serrada, lâminas e compensados é muito variável entre as espécies e também dentro da mesma espécie. Os fatores inerentes à qualidade e à classe diamétrica das toras, e o tipo de produto final, influenciam sobremaneira nos valores de rendimento. Desta forma, qualquer prognóstico de produção deve levar em consideração estas variações.

De uma forma geral, a maioria das indústrias de serrados no Brasil ainda apresenta um baixo grau de mecanização e automação. Tal constatação provém do fato de que poucas indústrias dispõem de maquinários como classificadores automáticos e descascadores de toras, adequadas instalações para classificação de madeira serrada, capacidade suficiente de secagem e alto nível de utilização de subprodutos (resíduos) (ABIMCI, 2003).

De acordo com Murara Jr *et al.* (2010), o Brasil ainda possui um grande número de serrarias que utilizam o sistema convencional de desdobro, em que as toras são desdobradas de acordo com critérios escolhidos pelo operador da máquina principal, ou seja, é ele quem define a melhor maneira de se desdobrar uma tora. Dessa maneira, podem ocorrer elevadas perdas de matéria-prima, devido à ausência de tecnologias apropriadas para o desdobro das toras, encarecendo o processo, em função de que há a necessidade de se consumir maior volume de matéria-prima para produzir a mesma quantidade de produto serrado.

Murara Jr *et al.* (2010) cita ainda que a escolha dos operadores da serra principal, resserradeiras, canteadeiras e destopadeiras assumem verdadeira importância, pois eles estão continuamente tomando decisões que dizem respeito a fatores que dependem do bom funcionamento das máquinas, que, por sua vez, afetam o desempenho da indústria: produtividade, qualidade do produto e o elevado índice de retrabalho para recuperação da matéria-prima.

A decisão pessoal de um operador de como seccionar um tronco ou mesmo desdobrar dificilmente obterá um nível ótimo, isso porque ele raramente conseguirá obter a melhor visualização de todas as alternativas no pouco tempo que tem para tomada de decisões (MURARA Jr. *et al.*, 2010).

A competitividade de empresas madeireiras está intimamente relacionada com a qualidade dos produtos e com a eficácia dos processos (BONDUELLE, 1997).

O resultado da falta de investimentos tecnológicos mais avançados faz com que a indústria brasileira de serrado tenha um baixo rendimento na transformação tora-serrado, variando de 35 a 40%. Em média, são necessários cerca de 2,4 m³ de toras de Pinus com casca para a produção de 1 m³ de madeira serrada, já na transformação tora-serrado de madeira tropical são necessários em média 2,7 m³ de toras com casca para a produção de 1 m³ de madeira serrada (ABIMCI, 2003).

De acordo com Gomide (1974), o rendimento de uma serraria é dado pela relação entre os volumes de madeira bruta e madeira serrada, conforme mostra a Equação 01:

$$R = \frac{Vms}{Vmb} * 100 \quad (01)$$

onde:

R = rendimento da serraria, em [%];

Vms = volume de madeira serrada, em [m³];

Vmb = volume de madeira bruta, em [m³].

Assim, realizar manutenção dos equipamentos do processamento, bem como a afiação sempre que for percebida alteração na qualidade do corte, são também fundamentais para garantir rendimento e qualidade. A condição e a manutenção dos equipamentos podem interferir na produtividade de uma serraria (ABIMCI, 2003).

A Figura 06 mostra uma serra passando pelo processo de afiação em uma das serrarias estudadas. A estratégia utilizada varia de empresa para empresa, algumas utilizam período de tempo outras observam a característica do corte para avaliar quando as serras necessitam passar pela manutenção.



Figura 06. Serra utilizada no processamento da madeira passando pelo processo de afiação em serraria na região de Itapeva/S.P.

3.1.4. A Produção de Madeira Serrada de Pinus

Nos últimos anos a utilização de pinus na indústria madeireira brasileira tem sido crescente. As estimativas indicam que 35% do volume de madeira serrada produzida é formado de madeira desse gênero e no país existem, aproximadamente, 1,5 milhões de hectares de plantações. Portanto, tratam-se de espécies fundamentais para o fornecimento de matéria-prima, com destaque as Regiões Sul e Sudeste (BALLARIN & PALMA, 2003).

De acordo com Fagundes (2003), a partir da década de 70, a indústria de transformação mecânica encarregada do processamento da madeira no sul/sudeste do país iniciou um processo de utilização do *pinus*, para produção de madeira serrada e lâminas. Este processo de utilização nesta indústria foi incrementado à medida que as reservas naturais se esgotaram, ou eram incluídas como áreas de preservação permanente.

Foi também através de leis de incentivo fiscal para reflorestamentos que favoreceu a implantação de grandes áreas florestais, especialmente voltadas para a indústria de chapas de madeira reconstituída e de celulose. No Brasil o

plantio do gênero *pinus spp.* resumiu-se basicamente a duas espécies, *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, em função das condições climáticas e adaptação (FAGUNDES, 2003).

De uma forma geral, o incremento volumétrico de *Pinus elliotti* costuma ser menor que de *Pinus taeda*. Porém, ele inicia a produção de madeira adulta a partir dos cinco a seis anos de idade, em contraste com 12 a 15 anos em *Pinus taeda*. Este pode ser um diferencial muito importante na escolha da espécie para produção de madeira destinada ao processamento mecânico. Isto significa que, em toras da mesma idade, a de *Pinus elliotti* contém menor proporção de madeira juvenil e, portanto, será de melhor qualidade física e mecânica do que a tora de *Pinus taeda*. (SHIMIZU, 2010)

Ainda segundo Fagundes (2003), a qualidade desejada para a madeira de Pinus está na dependência do uso a ser dado ao produto madeireiro. Desta forma, mesmo que o objetivo principal seja sempre o de produzir maior volume de madeira para todos os usos em menor tempo possível pode-se visar também a obtenção de madeira para fins específicos, como, por exemplo, produzir madeira mais densa quando o uso está voltado à produção de celulose e de madeira serrada, madeira livre de nós quando se trata de laminação e madeira serrada e de fibras mais longas e com maior espessura de parede quando o objetivo é a produção de papel.

3.1.5. A Produção de Madeira Serrada de Eucalipto

A maior parte das florestas plantadas do gênero *eucalyptus* foi projetada para a utilização na produção de celulose, carvão vegetal e chapas, ao mesmo tempo em que o seu uso ainda está comprometido com a produção de madeira para estes denominados “usos tradicionais”(FAGUNDES, 2003).

Fagundes (2003), explica que, desta forma, não se tem ainda uma madeira de eucalipto ideal para a utilização como produtos serrados, tanto para a indústria da construção civil como para a indústria moveleira. Em consequência desta falta de matéria-prima mais apurada e de seus parâmetros dependentes do processamento, as experiências na área de serraria têm-se mostrado muito restritas, quanto à possibilidade de suas extrapolações.

Este quadro tem grandes possibilidades de reversão, não somente pela escassez de outra matéria-prima florestal, mas pelo rompimento de alguns preconceitos e do aprofundamento de estudos sobre as inúmeras alternativas de uso múltiplo, principalmente na construção civil, indústria moveleira e de embalagens (FAGUNDES, 2003).

3.1.6. Resíduos do Processamento da Madeira

O processo de produção da madeira serrada gera um volume significativo de resíduos e sobras oriundas da transformação das toras pelas serras de desdobro e que, somados aos galhos, troncos e raízes que ficam na floresta, indicam um volume significativamente superior ao produto madeireiro obtido (ABIMCI, 2004c).

Do ponto de vista tanto econômico como ambiental se justificariam programas, envolvendo incentivos e facilidades, para a instalação de linhas de aproveitamento destas sobras e resíduos desde a geração de energia a partir desta biomassa até aqueles destinados à obtenção de produtos com agregação de valor (FAGUNDES, 2003).

De acordo com ABIMCI (2004c), o volume de resíduos gerados no processamento de toras de madeira pode ser expresso como a diferença entre o volume de madeira em toras que entra na serraria e o volume de madeira serrada produzida.

Segundo Yuba (2001), os resíduos produzidos são: serragem, costaneira, resíduos do refilamento e casca, podendo ser aproveitadas e comercializadas. Anteriormente, as serrarias que não tinham consumidores para os resíduos produzidos, assim algumas das soluções dadas eram a queima e a deposição irregular que resultavam em poluição do ar, solo e água, pelo desequilíbrio gerado.

As Figuras 07 e 08 mostram os resíduos mais comumente encontrados em serrarias de processamento, que conhecidos no mercado como cavaco e pó-de-serra.



Figura 07. Acúmulo do resíduo cavaco em serraria na região de Itapeva/SP.



Figura 08. Acúmulo do resíduo pó-de-serra em serraria na região de Itapeva/SP.

Segundo Jará (1997), a geração de resíduos de madeira normalmente ocorre por diversos fatores:

- Manejo florestal ineficiente;
- Mudança geométrica do produto;
- Técnicas de desdobro pouco eficientes;
- Liberação de tensões durante o desdobro;
- Escolha incorreta de ferramenta de cortes;
- Adoção de velocidade de corte incorreta;
- Espessura dos cortes da serra;
- Decisões equivocadas dos operadores de serra de desdobro;
- Secagem de forma inadequada.

Fagundes (2003) e ABIMCI (2004c) citam que uma vez caracterizadas as sobras, quer na forma de resíduos do processamento ou do descarte (refugo) decorrentes da inadequação de processos, especialmente aqueles comportados na fase do desdobro, caberá analisar as possibilidades do seu uso. Para o aproveitamento destes resíduos ou descartes existem basicamente quatro possibilidades:

- Geração de energia;
- Produção de celulose;
- Utilização como composto agrícola condicionador de solo;
- Produção de painéis e vigas de madeira reconstituída ou de madeira sólida.

3.2. Eficiência Energética

Para a ABESCO (2010), eficiência energética é uma atividade técnico-econômica que objetiva proporcionar o melhor consumo de energia e água, com redução de custos operacionais correlatos e com isso minimizar contingenciamentos no suprimento desses insumos. Além disso, introduz elementos e instrumentos necessários para o gerenciamento energético e hídrico da empresa ou empreendimento.

Conforme Souza *et al.* (2009), com o estabelecimento dos Protocolos de Montreal e Quioto, a eficiência energética foi alçada à condição de instrumento privilegiado e, algumas vezes, preferencial de mitigação de efeitos decorrentes das emissões de gases de efeito estufa e destruidores da Camada de Ozônio, e de poluentes ambientais.

De acordo com Haddad (2005), a produção de equipamentos com inovações tecnológicas e mais eficientes energeticamente geram benefícios não apenas para o setor energético, mas também para outras áreas e setores da sociedade.

Capelli (2007) cita que a eficiência energética é uma filosofia de trabalho que visa aperfeiçoar a utilização da energia elétrica por meio de orientações, direcionamentos, ações e controle dos recursos humanos, materiais e econômicos, reduzindo os índices globais e específicos da quantidade de energia necessária para a obtenção do mesmo resultado ou produto.

Qualquer atividade em uma sociedade moderna só é possível com o uso intensivo de uma ou mais formas de energia. Dentre as diversas formas de energia interessam, em particular, aquelas que são processadas pela sociedade e colocadas à disposição dos consumidores onde e quando necessárias, tais como a eletricidade, a gasolina, o álcool, óleo diesel, gás natural, etc.

A energia elétrica é usada em aparelhos simples, tais como, lâmpadas e motores elétricos ou em sistemas mais complexos que encerram diversos outros equipamentos como, por exemplo, a geladeira, o automóvel ou uma fábrica em si.

Para Tomalsquim (2008), o consumo energético no setor industrial é determinado pelo nível de atividade, estrutura do setor e eficiência energética. As mudanças no consumo de energia das indústrias não são exclusivamente relacionadas a melhoramentos

em eficiência energética nos processos industriais, mas também a vários outros fatores: políticos, econômicos e ambientais.

Tais fatores podem determinar que a indústria de um país pareça ser mais intensiva em energia do que em outro, ainda que a diferença possa ser essencialmente baseada sobre diferenças estruturais.

De acordo com Nogueira (2007), as causas das ineficiências se associam essencialmente a três grupos:

- Projeto deficiente: em razão da concepção errônea do ponto de vista do desenho, dos materiais, do processo de fabricação, os equipamentos e/ou os sistemas levam a desperdícios de energia, por exemplo, por utilizar lâmpadas ineficientes ou efetuar sua disposição incorreta ante os princípios da utilização racional de energia;
- Operação ineficiente: mesmo quando os sistemas energéticos são bem concebidos, podem ser operados de forma irresponsável, por exemplo, mantendo uma sala sem atividades com lâmpadas eficientes desnecessariamente acesas;
- Manutenção inadequada: uma parte das perdas e dos desperdícios de energia poderia ser minimizada mediante procedimentos adequados de manutenção corretiva e preventiva, que inclui a correta regulagem e controle dos sistemas, para que mantenham, na extensão possível do desempenho das condições originais.

De acordo com Souza *et al.* (2009), o Brasil é pródigo em mecanismos para promoção da conservação de energia, dentre eles o Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), Conpet (Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural), PEE (Programa de Eficiência Energética) e PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem). Há também a Lei de Eficiência Energética, nº 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.

O órgão regulador do Sistema Elétrico Nacional, ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, em atenção aos problemas de escassez de recursos produtores de energia elétrica, definiu, por meio da Lei 9.991 de 24 de Julho de 2.000, a aplicação de recursos, pelas concessionárias e permissionárias de energia elétrica, em pesquisa, desenvolvimento e em projetos de eficiência energética, desenvolvendo medidas que promovam o combate ao desperdício de energia.

ANEEL (2008), através da resolução normativa n.300, estabelece os critérios para aplicação de recursos em programas de eficiência energética e a sua obrigatoriedade para concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição de energia.

A aplicação da efficientização energética em diversos setores de nossa sociedade é uma prática que deve ser considerada essencial nos dias atuais. Na área industrial, a efficientização energética pode trazer significativa redução de custos, bem como aumento no rendimento energético de equipamentos e instalações, com a conseqüente melhoria da qualidade dos produtos fabricados (COPEL, 2005)

Vale notar que esses efeitos se multiplicam à medida que a energia vai migrando por todos os setores da economia.

Para Geller (2003), a eficiência energética é, hoje, uma questão crucial para a humanidade e que as atuais fontes de energia e padrões de uso são insustentáveis. “O consumo cada vez maior de combustíveis fósseis causará enorme dano ao meio ambiente, riscos sem precedentes à mudança do clima, e esgotará rapidamente as reservas de petróleo”. Não é uma mensagem pessimista, pois logo adiante acrescenta que uma “revolução energética” é possível e desejável.

Enfatizando-se uma eficiência energética muito maior e ganhando-se confiança nas energias renováveis, todos os problemas relativos aos atuais padrões de uso de energia e suas tendências podem ser mitigados (GELLER, 2003).

3.2.1. A Eficiência Energética como Planejamento

Para Aguiar (2004), a busca pela eficiência energética deve considerar três aspectos, hoje importantes, mas praticamente relegados ao esquecimento no passado, o lado do consumo final, as questões ambientais e as questões sociais.

De acordo com Capelli (2007), os projetos de eficiência energética são aqueles que resultam em economia e benefícios diretos para o consumidor, com ações de combate ao desperdício de energia elétrica, modernização de instalações e processos.

A energia sempre foi encarada pelo planejamento energético clássico apenas como mais um setor produtivo da economia, e considerava que o único segmento

passível de controle era o lado da oferta. A energia mais do que um fator produtivo é também insumo básico para a promoção de uma maior equidade social e desenvolvimento humano, principalmente em países de Terceiro Mundo. O segmento da demanda, já consolidado ou em fase de implementação, constitui, juntamente com o segmento de oferta, a base para um planejamento energético mais integrado (AGUIAR, 2004).

No Brasil, o racionamento de 2001 mostrou duramente que a energia (em especial, a que vem sob a forma de eletricidade) não é abundante e nem tem custo de oportunidade nulo, como têm mostrado os aumentos de tarifa. A conjuntura de sobreoferta de energia elétrica de 2003 não deveria desestimular o esforço em eficiência energética, assim como não o tem feito com as energias renováveis (TOLMASQUIM, 2003). Motores elétricos, que consomem um terço da eletricidade ofertada no Brasil, devem ser um foco importante neste esforço.

Segundo Haddad (2005), a energia, a medida do possível, deve ser usada na qualidade exata requerida pelos equipamentos, processos e sistemas.

Este é um princípio que reconhece que as demandas de energia não são homogêneas e que o verdadeiro problema energético é atender, de maneira sustentável, necessidades de uso final heterogêneas com a mínima quantidade possível de energia termodinamicamente apropriada.

3.2.2. Consumo de Energia

A motivação para que a utilização de energia elétrica seja menor, sem que por isso seja afetado o bem estar ou o nível de produção do usuário, é a pedra angular para que as ações que visem o incremento da eficiência energética e a diminuição do desperdício sejam compreendidas, aceitas e implementadas pelos agentes do lado da demanda. Segundo Poole (1994), as motivações seriam de ordem econômica, ecológica, social e segurança estratégica.

a) Aspectos Econômicos

A eficiência energética, enquanto objetivo econômico a ser alcançado, cria novas áreas ou amplia outras já existentes em que os investimentos feitos terão como

remuneração “a diminuição das pressões financeiras sobre o setor energético, a modernização dos produtos e processos, aumento da produtividade e qualidade da indústria como um todo”.

O senso comum econômico acredita que a simples sinalização das tarifas energéticas seriam suficientes para que o uso eficiente da energia surja como uma consequência natural. Esta sinalização é importante, tanto do ponto de vista da motivação econômica quanto da necessidade de manter o setor capitalizado e apto para se lançar em novos empreendimentos, principalmente na geração e transmissão de eletricidade em países em desenvolvimento como o Brasil. Entretanto, mesmo em países com tarifas realistas e tecnologias disponíveis a eficiência energética não é utilizada em toda a sua potencialidade, deixando de render para os usuários todo o benefício econômico possível.

Para isso é necessário:

- Uma forte normalização de equipamentos, eletrodomésticos, veículos e equipamentos industriais, comercializados, padrões de construção (código de obras, planejamento da expansão urbana) adequados às diversas regiões, auto-produção e comercialização de excedentes por produtores independentes, priorização no uso e pesquisa de fontes alternativas, entre outros.
- Facilidade de financiamento para a substituição de equipamentos não eficientes existentes em paralelo com um programa de reciclagem do material desativado, o que estimularia a eficiência e evitaria o reaproveitamento de um equipamento não eficiente reconicionado de segunda mão, ao mesmo tempo em que favorecendo a uma estrutura de reciclagem que terá que ser expandida futuramente para solucionar o problema ambiental do lixo e dos rejeitos em geral.

b) Aspectos Ambientais

No Brasil como em outros países, as preocupações com o meio ambiente vão desde a constatação da inegável poluição aérea dos grandes centros, cursos de água que recebem efluentes “in natura” e dos solos degradados pelo desmatamento, mineração e todo tipo de despejo poluente, até a contabilidade da emissão de gases do efeito estufa, visando a negociação internacional sobre os ainda não definidos.

Assim, qualquer redução no consumo energético, pela aplicação de uma maior eficiência, contribuirá para não aumentarem os empreendimentos em geração, sejam térmicos ou hidráulicos, diminuindo não só os impactos diretos sobre o meio ambiente, mas também as emissões de CO₂, favorecendo o país em negociações internacionais.

c) Aspectos Sociais

No Brasil pode-se falar de ineficiência energética, por um lado, considerando-se os desperdícios e o mau uso. Por outro, também se pode falar que existe no país uma ineficiência social, pela grande iniquidade neste setor, como atestam os índices de desenvolvimento humano.

O combate à ineficiência energética estará atuando nos dois lados desta questão. Enquanto, obviamente, está se investindo para melhorar as formas de utilização, diminuindo o consumo sem perder a qualidade, ao mesmo tempo está se gerando energia com eficiência e distribuindo-se renda.

d) Segurança Estratégica

Foi com os choques do petróleo que o mundo contemporâneo conheceu os aspectos estratégicos da dependência externa de uma fonte de energia.

Apesar da não dependência do Brasil em relação ao petróleo para a sua geração elétrica, como dependem outros países, hoje já começa a consumir gás natural importado, principalmente em empreendimentos de geração descentralizada e independente e que usam a técnica de cogeração para a produção de eletricidade associada à produção de calor industrial e/ou refrigeração de ambientes.

Uma crise no abastecimento de eletricidade é sem dúvida a circunstância estratégica que motiva o investimento privado na auto-produção. Este tipo de geração cria a possibilidade para o investidor vender seus excedentes, fortalecendo o sistema de oferta de eletricidade.

Ambigualmente, uma ameaça de racionamento favorecerá aos consumidores sem qualquer iniciativa de auto-geração ou busca de eficiência, mesmo tendo as

possibilidades de tomá-las, porque nestas circunstâncias todos seriam sacrificados, até os que, por iniciativa própria, procuraram um menor consumo ou investiram na própria geração.

“Ao mesmo tempo a consolidação de uma política de eficiência no uso final introduz um efeito acelerador: quanto mais cresce a economia mais rapidamente penetram novas técnicas mais eficientes. Abafa-se, assim, o crescimento da demanda energética, com mais intensidade, nas épocas de maior crescimento econômico, reduzindo-se o risco de déficit na oferta. Finalmente, a base de informações implícita nesta política talvez possibilite algum tipo de discriminação entre consumidores perdulários e eficientes, se houver racionamento” (POOLE, 1994).

3.2.3. Selo Procel e Programas de Etiquetagem e Padronização

O objetivo do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais. Criado em 1985, coordenado pelo MME e operacionalizado pela Eletrobrás, o PROCEL foi convertido em Programa de Governo por meio de Decreto em 1991.

O Selo PROCEL é um instrumento promocional do PROCEL, aos equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro da sua categoria.

Sua finalidade é estimular a fabricação nacional de produtos mais eficientes no item economia de energia, e orientar o consumidor, no ato da compra, a adquirir equipamentos que apresentam melhores níveis de eficiência energética.

O selo para o desempenho é resultado de uma parceria entre o PROCEL e o INMETRO, com início no Selo PROCEL de Economia de Energia e o Programa Brasileiro de Etiquetagem. Esta parceria tem sido fundamental para o desenvolvimento de normas técnicas, para a implementação dos programas e à fiscalização dos produtos.

Para ser contemplado com o Selo PROCEL, o produto deve ser submetido a ensaios específicos em laboratório idôneo, indicado pelo PROCEL. Os parâmetros a serem avaliados para cada equipamento constam nos Critérios Específicos para Concessão do Selo PROCEL, que consta no Regulamento Selo PROCEL de Economia.

De acordo com Garcia (2003), programas de padronização são métodos que estabelecem o desempenho energético de um equipamento, podendo proibir a venda dos que estão abaixo de determinado índice. Há também três tipos de padronização:

- Padrões prescritos: exigem a instalação de determinado dispositivo ou característica no equipamento.
- Padrões de índices mínimos de performance: exigem um índice mínimo de eficiência energética (ou máximo de consumo) em cada equipamento comercializado, sem se ater à tecnologia ou dispositivos usados – este é o caso da nossa Lei de Eficiência Energética.
- Padrões médios: estabelecem índices médios de eficiência energética por tipo de produto fabricado, cabendo ao fabricante escolher os modelos e respectivas performances, desde que a média seja atingida. Esta abordagem dá margem ao fabricante de se adaptar gradativamente.

Os primeiros programas de etiquetagem e padronização apareceram nos anos 60s, mas somente no fim dos anos 70s se tornaram efetivos, com fortes impactos na fabricação de equipamentos e consumo de energia. Hoje, mais de 25 países adotam programas para algum equipamento (GARCIA, 2003).

O Procel mantém um programa computacional denominado Mark IV Plus que é uma ferramenta para diagnóstico e gestão energética no qual o usuário fornece informações sobre a sua instalação. O programa analisa os dados, fornecendo um relatório com a análise do consumo de energia e medidas de conservação de energia a serem tomadas.

Pode ser considerado um instrumento de boa eficácia para se melhorar o índice de eficiência energética, desde que bem aplicado – o que exige certos cuidados. O que se espera é que os custos com o programa sejam bem menores que o custo da energia evitada – um bom exemplo de sucesso é a implementação de padrões de eficiência energética nos EUA no setor residencial, que resultará em 2010, numa economia de mais de 5% do consumo, com uma relação custo-benefício de 3,5 a 4,4 (CLASP, 2001).

3.2.4. Motores Elétricos

O motor elétrico de indução trifásico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores (hidráulico, pneumático, combustão interna, entre outros), pois combina as vantagens da utilização de energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando com sua construção simples, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos (WEG, 2009).

Conforme Eletrobrás (2001) os motores de alto rendimento se apresentam como uma boa alternativa, muito embora não sejam a solução definitiva para todos os problemas energéticos relacionados ao motor de indução, posto que sejam tão susceptivos a fatores exógenos - condição do alimentador, método de partida, ambiente de trabalho - quanto os motores de projeto padronizado.

Segundo WEG (2009) os motores de Alto Rendimento são motores especialmente projetados para, fornecerem a mesma potência útil - na ponta do eixo - que outros tipos de motores, consumindo menos energia elétrica da rede.

Com as melhorias segundo Garcia (2003), é natural que o motor alto rendimento tenha maior custo. A sua utilização em lugar de um motor padrão (ou até mesmo, a troca de um motor em operação), no entanto pode ser economicamente viável em função do custo de energia economizado ao longo de sua vida útil (o custo da energia consumida por um motor chega a mais de 100 vezes o seu preço de aquisição).

Conforme Ramos (2005), não existe vantagem nenhuma em adquirir um motor de Alto Rendimento e acoplá-lo a um equipamento ineficiente ou trabalhar sobredimensionado, provocando maiores gastos com energia, tendência esta muito comum, propositalmente ou por desconhecimento, sob a alegação de se manter uma potência reserva que poderia aumentar a confiabilidade do acionamento.

Cemig (2010) mostra que motores e máquinas não instalados corretamente quanto a paralelismo, alinhamento, tensão da correia de transmissão e diâmetro mínimo das polias causam perdas de energia. Em pesquisa junto a consumidores industrial foram constatadas as seguintes perdas por cada tipo de instalação:

- Acoplamento direto: 45,7% em termos de potência;
- Polia e correia: 46,5 em termos de potência;
- Engrenagens: 5,1% em termos de potência;
- Demais motivos: 2,7 % em termos de Potência

O mercado de fabricação é dominado por três fábricas brasileiras (GARCIA, 2003):

- Weg (www.weg.com.br/): domina cerca de 75% do mercado, é líder no setor na América Latina, figura entre os cinco maiores fabricantes do mundo, exporta para mais de 50 países e conta com filiais e assistência técnica nos cinco continentes (Fazendo o Mundo Girar: Weg Motores Ltda. TTP SUL Magazine, 2003). Com sede em Jaraguá do Sul, em Santa Catarina, onde surgiu em 1961, domina o fornecimento de motores de baixa tensão na indústria. Por esta razão, será usada como referência para os motores existentes neste trabalho.

- Eberle (www.eberle.com.br/): com sede em Caxias do Sul – RS, fabrica motores elétricos desde 1939.

- Kohlbach (www.kohlbach.com.br/): também situada em Jaraguá do Sul – SC, fabrica motores e geradores.

No entanto, ainda se encontram funcionando motores de fabricação GE, que dominou o mercado até os anos 70s, e outras marcas como Búfalo, Brasil, que não são mais fabricados. Dos motores estrangeiros, o que mais se encontra são os de fabricação SEW (www.sew.com.br/), geralmente acoplados a dispositivos de variação de velocidade, como moto-redutores e acionamentos eletrônicos.

3.2.5. Tarifação Industrial de Energia Elétrica

A compreensão da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas contas de luz é fundamental para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética.

A conta de luz reflete o modo como a energia elétrica é utilizada e sua análise por um período de tempo adequado, permite estabelecer relações importantes entre

hábitos e consumo. Dadas as alternativas de enquadramento tarifário disponíveis para alguns consumidores, o conhecimento da formação da conta e dos hábitos de consumo permite escolher a forma de tarifação mais adequada e que resulta em menor despesa com a energia elétrica (PROCEL, 2001).

São duas as modalidades tarifárias, os consumidores do Grupo B (baixa tensão) têm tarifa monômnia, isto é, são cobrados apenas pela energia que consomem.

Os consumidores do Grupo A, tem tarifa binômnia, isto é, são cobrados tanto pela demanda quanto pela energia que consomem. Estes consumidores podem enquadrar em uma de três alternativas tarifárias:

- Tarifação Convencional
- Tarifação horo-sazonal Verde
- Tarifação horo-sazonal Azul (compulsória para aqueles

atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV).

Segundo PROCEL (2010), a estrutura convencional é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. A tarifa convencional apresenta um valor para a demanda de potência em reais por quilowatt e outro para o consumo de energia em reais por megawatt-hora.

A estrutura tarifária horo-sazonal é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano. O objetivo dessa estrutura tarifária é racionalizar o consumo de energia elétrica ao longo do dia e do ano, motivando o consumidor, pelo valor diferenciado das tarifas, a consumir mais energia elétrica nos horários do dia e nos períodos do ano em que ela for mais barata (ANEEL, 2005).

Na Tabela 04 pode-se verificar como são definidos os preços de demanda de potência e consumo de energia em relação à modalidade de tarifação escolhida.

Manzine (2004) analisou através da lógica fuzzy, faturas de energia elétrica de empresas rurais. Abrão Neto (2004) desenvolveu software também para análise de faturas de energia. Ambas as ferramentas podem ser utilizadas para o fim específico de avaliar

o melhor enquadramento tarifário, que beneficiará a eficiência energética de empresas no que diz respeito a gastos econômicos com o insumo energia elétrica.

Tabela 04. Preços para tarifas azul, verde e convencional.

| | <i>Azul</i> | <i>Verde</i> | <i>Convencional</i> |
|---------------------|---------------------------------------|--------------|---------------------|
| Demanda (kW) | Um Preço Para Ponta | Preço Único | Preço Único |
| | Um Preço P/ Fora Ponta | | |
| Consumo (kW) | Um Preço Para Ponta - Período Seco | Preço Único | Preço Único |
| | Um Preço P/ Fora Ponta - Período Seco | | |
| | Um Preço Para Ponta - Período Úmido | | |
| | Um Preço P/Fora Ponta - Período Úmido | | |

Fonte: (CPFL, 2006).

3.2.6. Indicadores de Eficiência Energética

De acordo com Capelli (2007), para se atingir uma boa eficiência energética são necessários basicamente cinco passos:

- Compreender seu consumo atual.
- Entender como ele é cobrado.
- Identificar oportunidades de economia de custos.
- Elaborar um diagnóstico energético e um plano executivo.
- Verificar, por meio de indicadores ou medição direta, a redução da demanda ou o consumo de energia elétrica.

Para Ferreira e Ferreira (1994), os indicadores energéticos podem ser definidos como macro-indicadores (quando caracterizam a eficiência de um país ou região) e micro-indicadores (quando caracterizam a eficiência de uma empresa, edifício ou habitação). Esses indicadores podem ser divididos em duas categorias em função dos seus objetivos:

- indicadores descritivos: quando caracterizam a situação de eficiência energética sem procurar justificativa para as causas ou desvios;

- indicadores explicativos: quando explicam as razões pelas quais se deram variações ou desvios nos indicadores descritivos, ou seja, ajudam a identificar a contribuição dos vários efeitos sejam eles tecnológicos, estruturais ou de comportamento nas variações da eficiência energética.

O estabelecimento dos índices mínimos de eficiência energética pode ser feito com duas abordagens básicas (CPFL, 2008):

- Estatística: onde apenas se analisam os modelos existentes e respectivas performances, buscando um ponto ideal que remova os menos eficientes

- Engenharia: neste caso, buscam-se as melhorias técnicas que podem ser feitas nos modelos menos eficientes e sua relação custo-benefício.

Segundo Eichhammer e Mannsbart (1997), o principal objetivo dos indicadores energéticos na indústria é proporcionar um entendimento maior da influência técnico-econômica no total do consumo final de energia na indústria e individualmente dos subsetores ou filiais.

Os resultados da análise dos indicadores de eficiência energética podem ser utilizados também para os seguintes fins:

- Direcionar as mudanças no consumo energético;
- Estabelecer políticas de eficiência energética;
- Estabelecer políticas ambientais;
- Orientar estabelecimento do preço da energia;
- Propiciar mudança no comércio dos bens energo-intensivos ou no produto final;
- Indicar os impactos estruturais para melhorar a eficiência energética;
- Servir de instrumento para mensurar o sucesso da política de negociação das reduções das emissões de CO₂.

Ainda segundo Eichhammer e Mannsbart (1997), para realçar a aplicação prática da análise dos indicadores é importante descrever a ligação/vínculo - ou não ligação - entre a eficiência energética e as possíveis forças dirigentes, como as políticas de eficiência energética e a ambiental, pesquisa energética, desenvolvimento e mudanças nos preços da energia.

Para Guerreiro (2009), uma das formas de representar informações relativas à eficiência energética é por meio de indicadores, definidos por Cima (2006) como valores estatísticos que revelam o estado específico e determinado no tempo de um fenômeno observável e mensurável. Indicadores de uso de energia, inclusive eficiência, fornecem informações a formuladores de políticas e apóiam o desenvolvimento de mecanismos e ações específicos (APEREC, 2001). Também podem ser utilizados para monitorar o impacto de programas ou iniciativas, bem como facilitar a comparação entre diferentes economias ou regiões.

Em serrarias existem variáveis como o desperdício de energia em relação ao maquinário instalado e os metros cúbicos de tora serrados, diâmetro das serras relacionado às bitolas de tora serradas, manutenção das máquinas, qualidade da mão-de-obra, todos responsáveis pela eficiência energética.

a) Consumo Específico

Um indicador de energia que pode ser empregado é o econômico-físico, pois ele pode mensurar quanto é o gasto de energia elétrica por mês de uma serraria e quanto ela produz de madeira serrado, conforme mostra a Equação 02.

Esse indicador é vantajoso porque, usando medidas físicas e econômicas, pode mensurar objetivamente qual o consumo requerido atualmente pelo uso final. Por ter a possibilidade de contabilizar o produto final em unidades monetárias, estes podem ser prontamente comparados e analisados em séries temporais.

$$CE = \frac{Ca}{Vms} \quad (02)$$

onde:

CE = consumo específico, em $[\text{kWh}/\text{m}^3]$;

Ca = consumo de energia ativa, em $[\text{kWh}]$;

V_{ms} = volume de madeira serrada, em $[\text{m}^3]$.

Cagnon e Valarelli (2005) determinaram um índice de desempenho energético com valor médio de $16,61 \text{ kWh}/\text{m}^3$, caracterizado em 10 indústrias madeireiras de médio e grande porte da região de Itapeva e Itararé - SP.

b) Fator de Potência

Outro indicador de extrema importância ser levado em conta em uma serraria é o fator de potência. Este indicador é definido como a razão entre a potência ativa e a potência aparente. Ele indica a eficiência do uso da energia, assim um alto fator de potência indica uma eficiência alta e inversamente, um fator de potência baixo indica baixa eficiência energética. Ele pode variar de 0 a 1 e ser capacitivo ou indutivo.

Um triângulo retângulo é frequentemente utilizado para representar as relações entre potência ativa (kW), potência reativa (kVAr) e potência aparente (kVA), conforme a Figura 09.

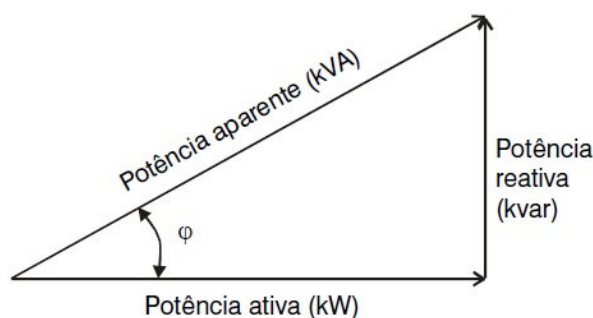


Figura 09. Triângulo retângulo de potência.

Pode-se considerar o fator de potência como a razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado, conforme mostra a Equação 03.

$$FP = \left(\frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \right) \quad (03)$$

onde:

FP = valor do fator de potência;

P = potência ativa, em [kW];

Q = potência reativa, em [kVAr].

A resolução ANEEL n° 456, de 29 de novembro de 2000, introduziu uma nova forma de abordagem do ajuste pelo baixo fator de potência, com os seguintes aspectos relevantes:

- Aumento do limite mínimo do fator de potência de 0,85 para 0,92;
- Faturamento de energia reativa excedente;
- Redução do período de avaliação do fator de potência de mensal para horário.

Com isso muda-se o objetivo do faturamento: em vez de ser cobrado um ajuste por baixo fator de potência, como faziam até então, as concessionárias passam a faturar a quantidade de energia ativa que poderia ser transportada no espaço ocupado por esse consumo de reativo. Este é o motivo de as tarifas aplicadas serem de demanda e consumo de ativos, inclusive ponta e fora de ponta para os consumidores enquadrados na tarifação horossazonal.

Segundo COPEL (2005), as principais causas para um baixo fator de potência na indústria, são as seguintes:

- Motores operando em vazio ou super dimensionados;
- Transformadores operando em vazio ou com pequenas cargas ou super dimensionados;
- Nível de tensão acima da nominal.

Como conseqüências do baixo fator de potência, Weg (2010) relata as seguintes:

- Acréscimo na conta de energia elétrica por estar operando com baixo fator de potência;
- Limitação da capacidade dos transformadores de alimentação;
- Quedas e flutuações de tensão nos circuitos de distribuição;
- Sobrecarga nos equipamentos de manobra, limitando sua vida útil;
- Aumento das perdas elétricas na linha de distribuição pelo efeito Joule;
- Necessidade de aumento do diâmetro dos condutores;
- Necessidade de aumento da capacidade dos equipamentos de manobra e de proteção.

c) Fator de Carga

A relação entre o consumo de energia devido à demanda média, pelo consumo de energia devido à demanda máxima, se traduz no fator de carga da unidade consumidora.

Este índice permite verificar se a energia elétrica é utilizada de forma racional e econômica. Da mesma forma que o fator de potência, o fator de carga varia entre 0 e 1. O fator de carga pode ser obtido através das faturas de energia ou medições na área industrial, através de analisadores de energia.

Gonzaga (1997) diz que o grau de racionalização do consumo de energia elétrica é medido pelo fator de carga, que, portanto, é um índice de grande importância para as indústrias consumidoras.

O mesmo autor, afirma que o fator de carga é o principal, dentre os índices elétricos, pela diminuição dos custos operacionais ou investimentos necessários para a expansão das instalações.

O fator de carga pode ser expresso pela relação entre o consumo real de energia e o consumo que haveria se a carga solicitasse, durante todo o tempo, de uma potência constante e igual à demanda máxima, conforme mostra a Equação 04.

$$FC = \frac{C}{D.t} \quad (04)$$

onde:

FC = fator de carga;

C = consumo de energia, em [kWh];

D = demanda, em [kW];

t = tempo, em [h].

O valor de 730h mensais a ser utilizado muda de acordo com a classe do consumidor, mas representa o número de horas médio em um mês genérico do ano (365 dias / 12 meses) x 24 horas. Quanto mais próximo de um, melhor é a eficiência energética do sistema, pois mais próximo estará o consumo e a demanda.

No caso de consumidores enquadrados no sistema de tarifação horo-sazonal, o fator de carga é definido por segmento horo-sazonal (ponta e fora de ponta). Assim deve ser calculado o fato de carga na ponta considerando o período de 65 horas para os valores mensais de consumo e demanda, o que pode ser visualizado na Equação 05. Da mesma forma deve ser calculado o fator de carga fora de ponta, considerando o período de 665 horas para os valores mensais de consumo e demanda, conforme mostra a Equação 06.

$$FCp = \frac{Cp}{Dp.65} \quad (05)$$

onde:

FCp = fator de carga na ponta;

Cp = consumo de energia na ponta, em [kWh];

Dp = demanda na ponta, em [kW];

$$FCfp = \frac{Cfp}{Dfp.665} \quad (06)$$

onde:

$FCfp$ = fator de carga fora de ponta;

Cfp = consumo de energia fora de ponta, em [kWh];

Dfp = demanda fora de ponta, em [kW];

A melhoria – aumento – do fator de carga, além de diminuir o preço médio pago pela energia consumida, conduz a um melhor aproveitamento da instalação elétrica, inclusive de motores e equipamentos e à otimização dos investimentos nas instalações.

O fator de carga da unidade consumidora depende, entre outras coisas, das características dos equipamentos elétricos e do regime de operação dos mesmos, que por sua vez tem relação com a atividade executada no local.

A ação por parte da indústria de conservar o consumo e reduzir a demanda, ou aumentar o consumo e manter a demanda, pode contribuir para o aumento do fator de carga.

De acordo com CEMIG (2010), o aumento do fator de carga pode ser conseguido através de medidas que, na sua maioria, não implica em investimentos. São relacionadas, a seguir, algumas delas:

- Selecionar e reprogramar os equipamentos e sistemas que possam operar fora do horário de maior demanda da instalação, fazendo um cronograma de utilização de seus equipamentos elétricos, anotando a capacidade e o regime de trabalho de cada um, através de seus horários de funcionamento;
- Evitar partidas simultâneas de motores que iniciem operação com carga;
- Diminuir, sempre que possível, a operação simultânea dos equipamentos;
- Verificar se a manutenção e a proteção da instalação elétrica e dos equipamentos são adequadas, de modo a se evitar a ocorrência de curtos-circuitos e fugas de corrente.

Gabriel (1994) e Gabriel (1997) utilizou os fatores de potência e de carga através de análises matemáticas para racionalização de energia em agroindústrias. Gabriel (2008), utilizou ambos os fatores com o mesmo fim com o auxílio da lógica fuzzy.

d) Fator de Demanda

Outro fator é o fator de demanda que é definido como a razão da soma das potências nominais dos equipamentos de utilização suscetíveis de funcionar simultaneamente, pela soma das potências nominais de todos os equipamentos de utilização alimentados pela mesma instalação ou parte da instalação (Cotrim, 2010).

Em outras palavras, o fator de demanda é a razão da demanda máxima de uma instalação ou de um setor ou de um conjunto de cargas de uma instalação para a potência instalada da instalação, do setor ou do conjunto de cargas conforme mostra a Equação 07.

$$FD = \frac{Dm}{Pi} \quad (07)$$

onde:

FD = Fator de demanda.

Dm = Demanda máxima da instalação, em [kW].

Pi = Potencia nominal dos equipamentos instalados na planta industrial, em [kW].

Segundo Cotrim (2010), o regime de funcionamento de um equipamento utilizado pode ser de modo que a potência efetivamente absorvida seja inferior à respectiva potência nominal. É o caso dos motores elétricos, suscetíveis de funcionar abaixo de sua carga plena.

O fator de utilização é definido para um equipamento como a razão da potência máxima efetivamente absorvida – também chamada de potência de trabalho – para a sua potência nominal.

O valor do fator de utilização deve ser menor ou igual a um. Em uma instalação industrial usual, os equipamentos a motor apresentam, geralmente, fatores de utilização na faixa de 0,3 a 0,8. Este fator pode indicar o bom dimensionamento dos equipamentos em relação ao trabalho executado

Diante do contexto apresentado, da diversidade do tema e de acordo com Haddad (2005), existem grandes possibilidades para a atuação de companhias de serviços energéticos denominadas ESCO's, que realizam diagnósticos energéticos e projetos de aumento de eficiência energética.

Em 19 de maio de 2006, o BNDES aprovou o PROESCO, programa destinado a financiar projetos de eficiência energética. O Programa visa apoiar a implementação de projetos que comprovadamente contribuam para a economia de energia, com focos de ação em iluminação, motores, otimização de processos, ar comprimido, bombeamento, ar-condicionado e ventilação, refrigeração e resfriamento, produção e distribuição de vapor, aquecimento, automação e controle, distribuição de energia e gerenciamento energético. A linha de financiamento contempla ainda os usuários finais de energia, interessados em financiar a compra de equipamentos eficientes (Souza *et al*, 2009).

3.3. Teoria Fuzzy

3.3.1. Introdução

Ciências como a engenharia, a química e a física criam modelos matemáticos exatos a partir de fenômenos empíricos e utilizam tais modelos para fazer previsões. Alguns aspectos do “mundo real” sempre escapam destes modelos matemáticos precisos e normalmente existe uma inexatidão percebida como parte do modelo original (SILVA, 2005).

Uma forma para indicar a eficiência energética é basear-se na lógica fuzzy, que ao contrário da lógica tradicional, não impõe limites bruscos, proporcionando graus de pertinência de elementos a uma determinada categoria.

Pode-se definir lógica fuzzy como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação.

O interesse no uso dessa lógica seria devido a possibilidade da construção de uma base de regras onde os valores podem ser imprecisos, dando flexibilidade ao sistema e facilitando a compreensão do problema.

Segundo Souza (2004), muitos fenômenos são compreendidos através de simulações que representam determinado comportamento de um dado sistema, podendo ser analisado por simulações clássicas ou através de simulações que utilizem os sistemas inteligentes (programas de computador que respondem a dados de entrada, dando respostas baseadas na lógica do raciocínio humano).

Silva (2005) acredita que estruturas inexatas sejam bastante ricas em operações e propriedades que permitem a construção de modelos para uma grande variedade de situações. Além disso, estas propriedades matemáticas fornecem um guia prático para o raciocínio técnico e filosófico.

Conforme Cruz (2001), na Lógica Clássica, o valor verdade de uma proposição assumirá, somente, o valor falso (0) ou o valor verdadeiro (1) e, necessariamente, terá que assumir um desses dois, não havendo outra possibilidade. Já na Lógica Fuzzy, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto fuzzy de qualquer conjunto parcialmente ordenado. Geralmente é adotado o intervalo fechado de números reais $[0,1]$. Assim, na Lógica Fuzzy não existem apenas o verdadeiro (1) e falso (0), mas uma infinidade de valores verdades, os quais são expressões lingüísticas interpretadas como subconjuntos fuzzy do intervalo unitário. Por exemplo: falso, muito falso, um pouco falso, mais ou menos falso, pouco verdadeiro, muito verdadeiro, verdadeiro, etc.

No passado havia um grande interesse na construção de uma fundamentação lógica para a tomada de decisão sob condições de incerteza. Muitos autores foram pioneiros no tratamento das incertezas, mas a maioria preferiu construir funções de decisões que dependem da utilização de informações prévias ou de probabilidades subjetivas sobre a origem da incerteza (ZADEH, 1975).

Zadeh, reconhecidamente considerado o “Pai da Lógica Fuzzy”, definiu formalmente os conjuntos fuzzy, suas propriedades e operações algébricas e, mais tarde, introduziu o conceito das variáveis lingüísticas (HAMMELL II, 1990).

3.3.2. Fundamentos Básicos

Segundo Shaw e Simões (2001), a lógica fuzzy provê um método de traduzir expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana em uma forma compreensível pelos computadores. Assim, a tecnologia possibilitada pelo “enfoque fuzzy” tem um imenso valor prático, na qual se torna possível a inclusão da experiência de operadores humanos, os quais controlam processos e plantas industriais, em es computadorizados, possibilitando estratégias de tomadas de decisão em problemas complexos.

Informações vagas, incertas, qualitativas, comunicações verbais, capacidade de aprendizado e de formulação de estratégias de tomadas de decisão são características humanas. Portanto, a teoria fuzzy é frequentemente referida como “inteligente”, devido ao fato de simular a inteligência humana (MCNEILL e FREIBERGER, 1994).

Conforme Zadeh (1975), a teoria dos conjuntos fuzzy tem como um de seus objetivos o desenvolvimento de uma metodologia para a formulação e solução de problemas bastante complexos ou mal formulados sob o ponto de vista das técnicas convencionais.

A fuzzyficação é o processo de transformação da entrada em graus de pertinência ou de certeza no conceito, produzindo uma interpretação ou adjetivação da entrada. Ou seja, é a transformação de um número ou conjunto da lógica tradicional em um conjunto fuzzy. Por exemplo, um questionário pode perguntar por nomes de todas as pessoas com mais de 1,80m de altura. A fuzzyficação deste questionário pode produzir um conjunto fuzzy compreendendo todas as pessoas consideradas altas, ou seja, maior que 1,80m (BELLMAN e ZADEH, 1970).

Um sistema fuzzy típico consiste de uma base de regras, de funções de pertinências e de procedimentos de inferência, conforme esquematizado na Figura 10.

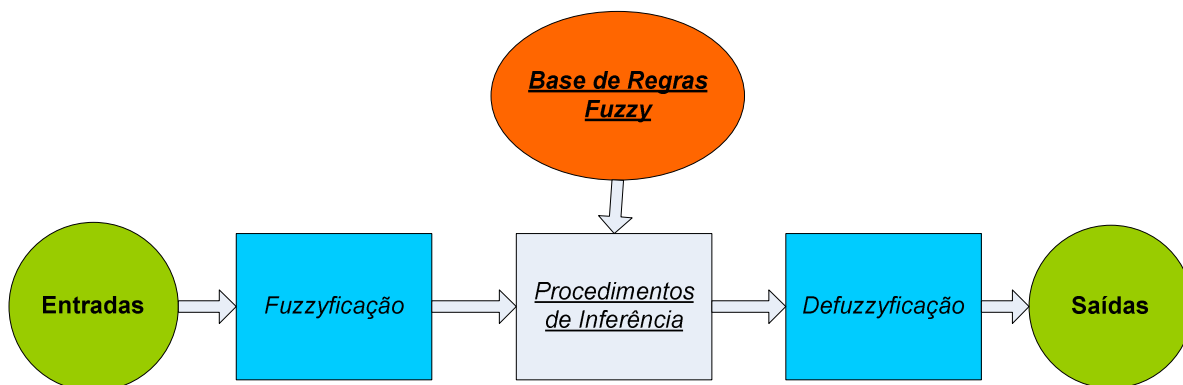


Figura 10. Estrutura geral de um sistema de inferência fuzzy.

Fonte: (adaptado de HAMMELL II, 1990).

Os conjuntos fuzzy pertencentes à entrada compõem os antecedentes da regra. A entrada para o sistema é comparada com os antecedentes das regras fuzzy na base de regras e um grau de pertinência é obtido. Este grau de pertinência é usado no processo de inferência fuzzy para produzir um conjunto fuzzy sobre a saída, conforme a Figura 10.

Para situações que requerem uma resposta precisa, o conjunto fuzzy da saída é transformado num valor único, pelo processo de defuzzyficação (BELLMAN e ZADEH, 1970). Os conceitos acima citados serão definidos e descritos a seguir.

3.3.3. Determinação dos Conjuntos Fuzzy

As funções de pertinência para a construção dos conjuntos fuzzy têm origem na opinião e no conhecimento de seres humanos, principalmente especialistas no assunto em questão (BRAGA, 1995).

Conforme Turksen (1984), na construção dos conjuntos fuzzy, os graus de pertinência são determinados por diversos métodos:

- Avaliação e dedução subjetivas: Como os conjuntos fuzzy pretendem geralmente modelar a percepção e o conhecimento das pessoas, eles podem ser determinados por meio de procedimentos de cognição simples ou sofisticados. Num contexto simples, pessoas desenham ou especificam curvas de pertinência diferentes, apropriadas ao problema apresentado. Tais pessoas são tipicamente especialistas da área. Em casos mais complexos as pessoas podem ser submetidas a métodos psicológicos para fornecer dados para a determinação dos graus de pertinência;

- Formas “Ad Hoc”: Enquanto existe uma infinidade de formas possíveis de funções de pertinência, as mais reais operações de controle fuzzy derivam de um pequeno conjunto de tipos de curvas, como, por exemplo, a simples forma dos conjuntos fuzzy triangulares. Isto simplifica o problema, já que neste caso basta se escolher o valor central e a inclinação das retas de ambos os lados do conjunto fuzzy; conversão de freqüências ou probabilidades: Às vezes, as informações tomadas na forma de histogramas de freqüências ou mesmo outras curvas de probabilidade são usadas como base para a construção da função de pertinência. Cabe destacar que funções de pertinência não são necessariamente probabilidades;
- Mensuração física: Muitas aplicações da lógica fuzzy são mensurações físicas, mas quase nenhuma mede diretamente os graus de pertinências.

A parte mais crítica da construção de um modelo fuzzy é justamente a escolha da forma de cada conjunto fuzzy (trapezoidal ou triangular, por exemplo), visto que esta determina a correspondência entre os dados de entrada e os seus conceitos lingüísticos correspondentes. Entretanto, evidências experimentais mostram que modelos fuzzy têm um bom desempenho mesmo quando as formas de seus conjuntos fuzzy não se encontram precisamente determinados. A Figura 11 apresenta exemplos de conjuntos fuzzy trapezoidal (Alta) e triangular (Média).

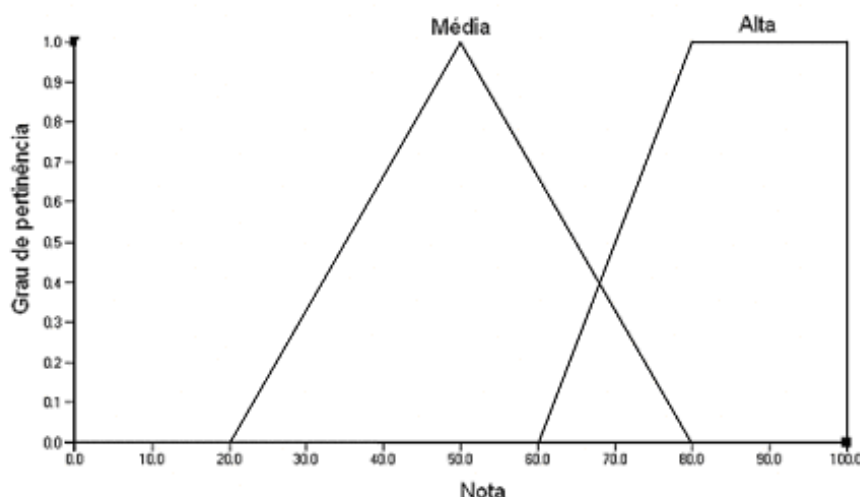


Figura 11. Formas trapezoidal e triangular dos conjuntos fuzzy.

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma terna (a, b, c) , onde a , b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume. Quando utilizamos um software simulação matemática, o que o toolbox executa é a seguinte função (BARROS; SOUZA; AMENDOLA, 2005):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x > c \end{cases}$$

Já as funções de pertinência trapezoidais são caracterizadas por um conjunto de quatro valores de a , b , c e d , onde a e d determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. Da mesma forma que as triangulares, o que o toolbox executa é a seguinte função (BARROS; SOUZA; AMENDOLA, 2005):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0 & \text{se } x > d \end{cases}$$

Os conjuntos fuzzy em formas trapezoidais ou triangulares são convencionalmente utilizados em modelos de engenharia. A forma trapezoidal é utilizada muitas vezes para mapear funções de pertinência nos domínios extremos, enquanto a forma triangular atua nas regiões intermediárias destes mesmos domínios.

Não existe uma topologia rígida para as formas dos conjuntos fuzzy. O domínio da região fuzzy deve ser mais elástico do que restritivo, ou seja, deve se estender do zero à unidade.

3.3.4. Base de Regras

Os especialistas humanos tomam decisões baseados em conhecimentos, muitas vezes armazenados na forma de regras. Inconscientemente, muitas vezes, regras do tipo SE-ENTÃO são aplicadas, como em casos de raciocínio complexo, onde há a necessidade da materialização desta espécie de regras. A criação de regras fuzzy passa obrigatoriamente pela criação dos conjuntos envolvidos (SILVA, 2005).

Ainda segundo Silva (2005), existem quatro métodos básicos de regras de controle fuzzy, o baseado na extração de conhecimento de especialistas, o baseado na observação de um operador humano, o baseado num modelo fuzzy e o baseado em aprendizado.

3.3.5. Defuzzyficação

Em algumas aplicações, uma interpretação lingüística do resultado é suficiente, por exemplo, quando o resultado é usado para fornecer uma resposta verbal ou qualitativa. Em outras aplicações, um valor numérico como variável de saída é solicitado, por exemplo, para se decidir sobre a aceitação ou rejeição de um projeto, ou mesmo para o caso de comparações ou estabelecimentos de um “*ranking*” ou ordem de priorização. Desta forma, nos casos em que um resultado numérico é necessário, o processo de defuzzyficação deve ocorrer após a inferência fuzzy.

A relação entre o valor lingüístico e o seu correspondente valor real é sempre explicitada a partir das definições das funções de pertinência, utilizando o processo de defuzzyficação. Visto que a lógica fuzzy tenta imitar as decisões humanas, um bom método de defuzzyficação deve se aproximar de tal abordagem.

A maioria dos sistemas fuzzy, principalmente os de priorização de projetos e de alocação de recursos financeiros, utiliza o método do Centro dos Máximos ou método de defuzzyficação pelas Alturas (SHAW e SIMÕES, 2001).

O método do Centro dos Máximos determina o valor mais típico para cada termo e então computa o valor que reflete o melhor compromisso com o resultado da inferência fuzzy. Para se obter este melhor valor de compromisso como um número real, as

pertinências do resultado lingüístico da inferência fuzzy são considerados como os “pesos” dos valores mais típicos dos termos lingüísticos.

Assim, valor de melhor compromisso é aquele que equilibra os pesos, ou seja, por meio de uma média ponderada dos máximos se obtém a saída discreta (VON ALTROCK, 1995).

Na Figura 12 é apresentada uma aplicação do método de defuzzyficação do Centro dos Máximos, para a obtenção de uma variável de saída hipotética x_1 .

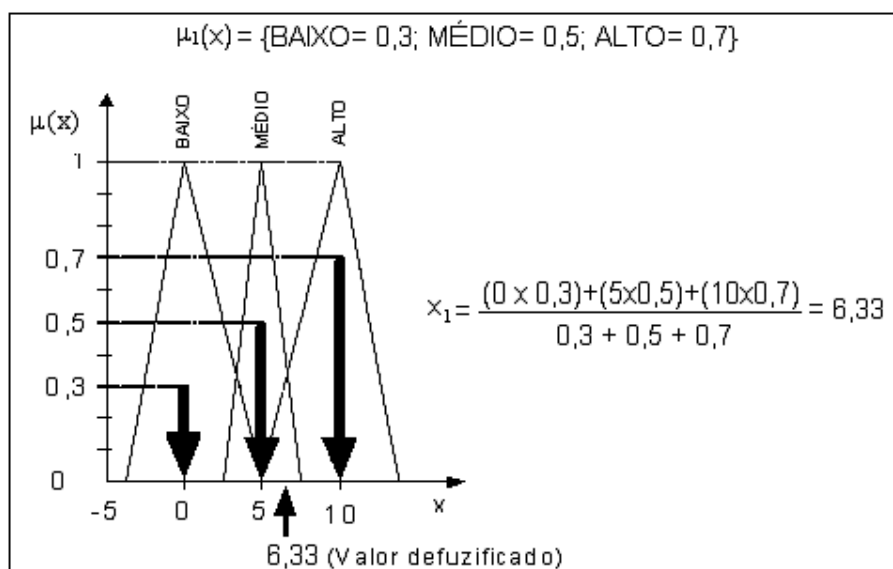


Figura 12. Aplicação do método de fuzzyficação do Centro dos Máximos.

Fonte: (SHAW e SIMÕES, 2001).

3.3.6. Sistemas de Controle Fuzzy

O funcionamento de um fuzzy de maneira simples e básica está esquematizado na Figura 13 (SOUZA, 2004):

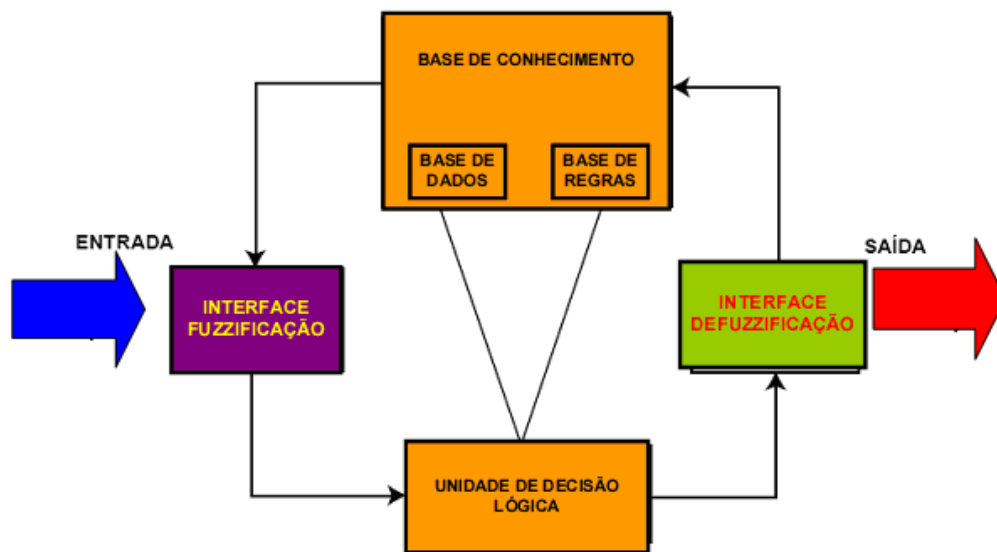


Figura 13. Esquema básico de um fuzzy.

Fonte: (SOUZA, 2004).

As descrições das partes principais ilustradas na Figura 16 estão apresentadas, a seguir:

- Interface de Fuzzyficação: os valores de entradas são apresentados e escalonados tornando-se universo de discurso normalizado. Em seguida, são fuzzyficados, transformando em números do conjunto fuzzy, de modo que possam tornar-se instâncias de variáveis lingüísticas.
- Base de Conhecimento: um conjunto de regras caracterizada por estratégia de controle e metas.
- Base de Dados: armazena definições das funções de pertinência; sobre discretizações e normalizações dos universos de discurso, bem como a partições fuzzy de entrada e saída.
- Procedimento de Inferência: utiliza os dados fuzzy de entradas, e juntamente com as regras, processa-se inferindo numa resposta de controle fuzzy. Para isso, aplica-se um operador de implicação fuzzy e regras de inferência da Lógica Fuzzy.
- Interface de Defuzzyficação: transforma as ações de controle fuzzy inferidas em ações não-fuzzy. Em seguida, escala-se para poder compatibilizar os

valores normalizados vindos do passo anterior com valores dos universos de discursos reais das variáveis.

3.3.7. Aplicações de Sistemas de Controle Fuzzy

A aplicação da lógica fuzzy em sistemas de controle deve ocorrer em situações onde haja benefícios esperados por sua utilização, podendo haver situações em que seu uso não seja o mais indicado. De forma geral, a indicação de uso de lógica fuzzy ocorre quando se deseja incorporar ao sistema a experiência de operadores humanos a respeito do processo a ser controlado (ZIMMERMANN, 1985).

Os sistemas fuzzy podem ser aplicados quando se pretende: (TERANO *et al*, 1991)

- Expressar experiência humana, senso comum, etc., de forma utilizável por máquinas;
- Produzir modelos dos sentimentos ou linguagem humanos;
- Imitar comportamentos humanos em reconhecimento de padrões, julgamento ou compreensão geral.
- Converter informações para uma forma em que pessoas possam compreendê-las facilmente
- Comprimir grandes quantidades de informações
- Produzir modelos da psicologia ou comportamento humanos
- Produzir modelos de sistemas sociais.

Os sistemas de controle fuzzy vêm encontrando aplicações em vários campos da ciência e da técnica. Segundo Terano *et al* (1991), as primeiras aplicações comerciais de sistemas de controle fuzzy ocorreram em 1980, e os produtos do campo da engenharia de controle são os que possuem maior valor de mercado.

3.3.8. Programas Computacionais para Uso da Teoria Fuzzy

São muitos os programas de computadores disponíveis para aplicação e o uso da teoria lógica fuzzy. Pode-se encontrar desde programas prontos para criar as regras

até ambientes onde o usuário pode criar um programa mais específico para o problema que deseja ser abordado.

Um dos softwares mais conhecidos e utilizados é o MATLAB, que utiliza uma linguagem de alto desempenho para computação técnica. Ele integra computação, visualização e programação em um ambiente acessível, onde problemas e soluções são expressos em notação matemática familiar. Os usos típicos incluem matemática, computação desenvolvimento de algoritmos, modelagem, simulação, prototipagem, análise de dados, exploração e visualização de gráficos científicos e de engenharia.

Existem outros similares como o Mathematica, o Maple e o SciLab, sendo este último, um software livre e para uso específico apenas em sistemas fuzzy tem-se o Fuzzy Tech.

Os programas computacionais citados fornecem possibilidades aos usuários de utilizar seu modo padrão de regras fuzzy através de um programa executável ou seu modo para desenvolvimento de programas mais específicos através da programação de algoritmos.

O desenvolvimento do fuzzy não requer a descrição matemática do modelo, já que o trabalha com informações do modelo do operador do sistema e não do sistema em si. Desta forma, apenas com regras do tipo “se-então” pode ser configurado um fuzzy.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Localização da Área Experimental

A parte inicial foi realizada na UNESP – Campus Experimental de Itapeva, no Laboratório de Processamento da Madeira, localizada no município de Itapeva, São Paulo, conforme ilustrado na Figura 14.

Este laboratório é uma serraria modelo, destinada à aulas práticas dos alunos de graduação do curso de Engenharia Industrial Madeireira e de alunos de pós-graduação de diversas instituições e programas.

Considerando que existem na região de Itapeva, aproximadamente 60 empresas de processamento da madeira, foram escolhidas cinco serrarias que mais se aproximam em relação à característica da madeira bruta utilizada e produtos de madeira serrada produzida. Em relação à madeira bruta citar o tamanho da tora, normalmente com casca, de diâmetro em torno de 30 cm, comprimento variando de 2,2 m a 3,0 m.

Os dados coletados terão o sigilo mantido como parte do acordo para a execução das pesquisas junto a essas empresas. Assim, será designada cada serraria com o nome genérico Laboratório de Processamento da Madeira, Serraria A, Serraria B, Serraria C, Serraria D e Serraria E.



Figura 14. Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva.

As serrarias estudadas utilizam como matéria-prima basicamente duas espécies de madeira que são o *Pinus taeda* e o *Pinus elliotti*. O estado da arte do processamento industrial dessas duas espécies mostra que há poucas variações significativas e que, portanto, não é necessária que seja caracterizada a espécie utilizada quando da etapa da coleta de dados elétricos.

Vários são os produtos fabricados por essas indústrias, tanto para o mercado interno como para o mercado externo. Para o mercado interno temos a produção de madeira serrada em forma de tábuas e pontaletes, caixaria de tomate. Para o mercado externo temos a produção de madeira serrada em forma de tábuas e ripas para produção de cercas.

Nas dependências da UNESP – Faculdade Ciências Agrônômicas, Fazenda Experimental Lageado, Departamento de Engenharia Rural, localizada no município de Botucatu, São Paulo, foram realizadas os processamento dos dados coletados e o trabalho final junto ao Laboratório de Energização Rural.

4.1.2. Caracterização Geral das Serrarias

Para a caracterização de processo serão mesclados processos, máquinas e equipamentos das serrarias estudadas. Considerando como início do processamento industrial da madeira tem-se a passagem da tora pela mesa de entrada, conforme mostra a Figura 15.



Figura 15. Mesa de entrada das toras instalada na Serraria C.

Ainda na Figura 15, pode ser visto além da mesa de entrada em primeiro plano, à direita o estoque de madeira bruta, à esquerda o galpão utilizado para secagem da madeira e ao fundo a madeira já processada em processo de secagem pelo método conhecido como “varal”.

A mesa de entrada encaminha as toras para o que é normalmente o primeiro equipamento de grande porte do processo que é a serra de fita vertical simples ou geminada, como ilustrado nas Figuras 16 e 17.



Figura 16. Serra de fita vertical simples e quadro geral da Serraria C.



Figura 17. Serra de fita vertical geminada no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva.

A Figura 18 mostra o mesmo equipamento da Figura 17, com uma vista interna, onde se pode observar as duas serras de fita verticais e os sistemas de tracionamento que conduzem a tora durante o processamento.



Figura 18. Vista interna da serra de fita vertical geminada.

São duas as seqüências mais utilizadas após o processamento pela serra de fita vertical. Em uma delas, o bloco segue para as serras refiladeiras ou multilâminas, conforme as Figuras 19 e 20.

A Figura 21 mostra o mesmo equipamento da Figura 20, com uma vista interna, onde se pode observar os conjuntos de serras, inferior e superior e o sistema de tracionamento que conduz tora durante o processamento.

A outra opção é passagem pela serra de fita horizontal como pode ser visto na Figura 22 e depois pela serra refiladeira.

O processo de manutenção das serras, com a afiação de ferramentas e o estoque de serras de reposição, é mostrado nas Figuras 23 e 24.



Figura 19. Serra multilâminas à direita e serra de fita horizontal à esquerda na Serraria C.



Figura 20. Serra multilâminas no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva.

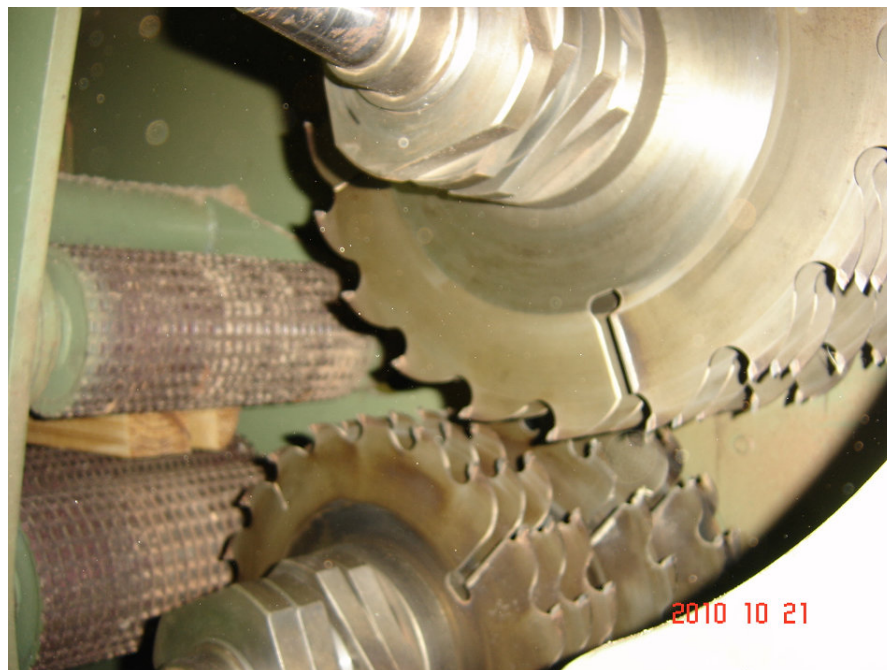


Figura 21. Vista interna da serra multilâminas.



Figura 22. Serra de fita horizontal na Serraria C.



Figura 23. Processo de afiação de serra no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva.

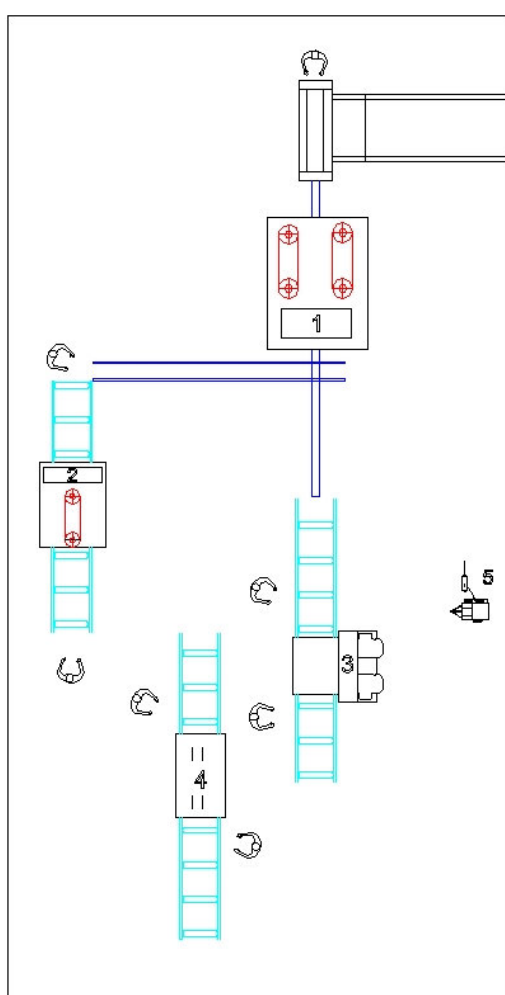


Figura 24. Estoque de serras de reposição no Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Itapeva.

4.1.3. Caracterização Específica do Laboratório e das Serrarias

4.1.3.1 Laboratório de Processamento da Madeira

O Laboratório de Processamento da Madeira, do Campus Experimental de Itapeva – UNESP tem o lay-out de produção com os principais equipamentos e um panorama geral ilustrado na Figura 25. A potência total dos equipamentos da área industrial é de 320 kW. O enquadramento tarifário é o horo-sazonal verde trifásico.



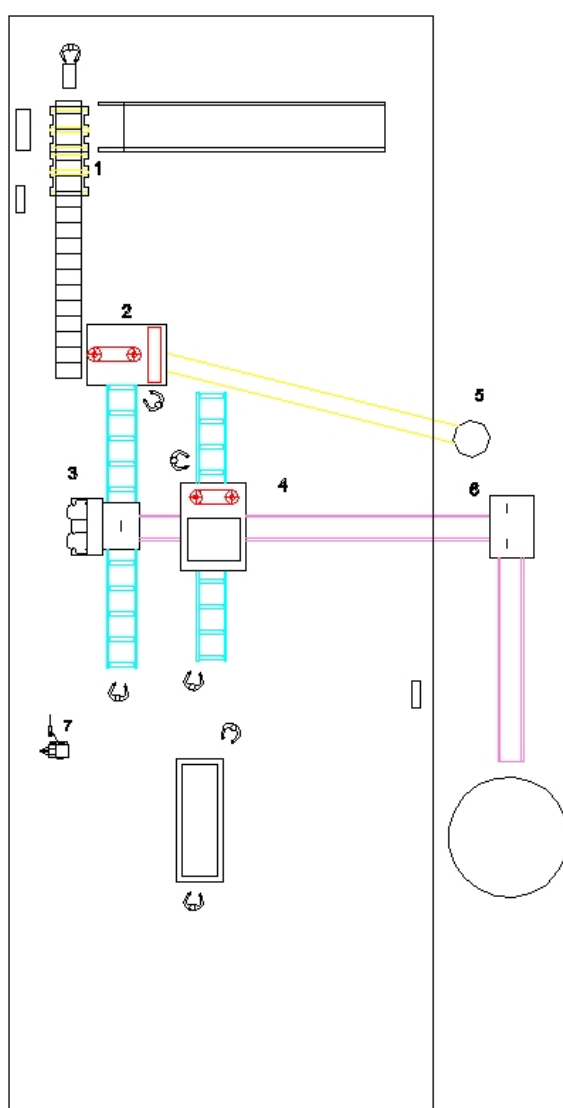
Legenda

1. Serra de fita vertical – geminada (44 kW)
2. Resserra (22 kW)
3. Serra multilâminas (166 kW)
4. Serra refiladeira (22 kW)
5. Compressor (7 kW)

Figura 25. Lay-out e panorama do Laboratório de Processamento da Madeira – C.E. Itapeva/UNESP.

4.1.3.2 Processamento da Madeira na Serraria A

O lay-out com os principais equipamentos e o panorama geral da serraria pode ser visto na Figura 26. A potência total dos equipamentos da área industrial é de 188 kW. O enquadramento tarifário é o horo-sazonal verde trifásico.



Legenda

1. Carro porta-tora (4 kW)
2. Serra de fita vertical (29 kW)
3. Serra multilâminas (22 kW)
4. Serra de fita horizontal (29 kW)
5. Transportador da sucção (29 kW)
6. Picador (37 kW)
7. Compressor (4 kW)

Figura 26. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria A.

Nas Tabelas 05 e 06 são listados partes dos dados de produção e da fatura de energia da Serraria A.

Tabela 05. Dados de produção da Serraria A.

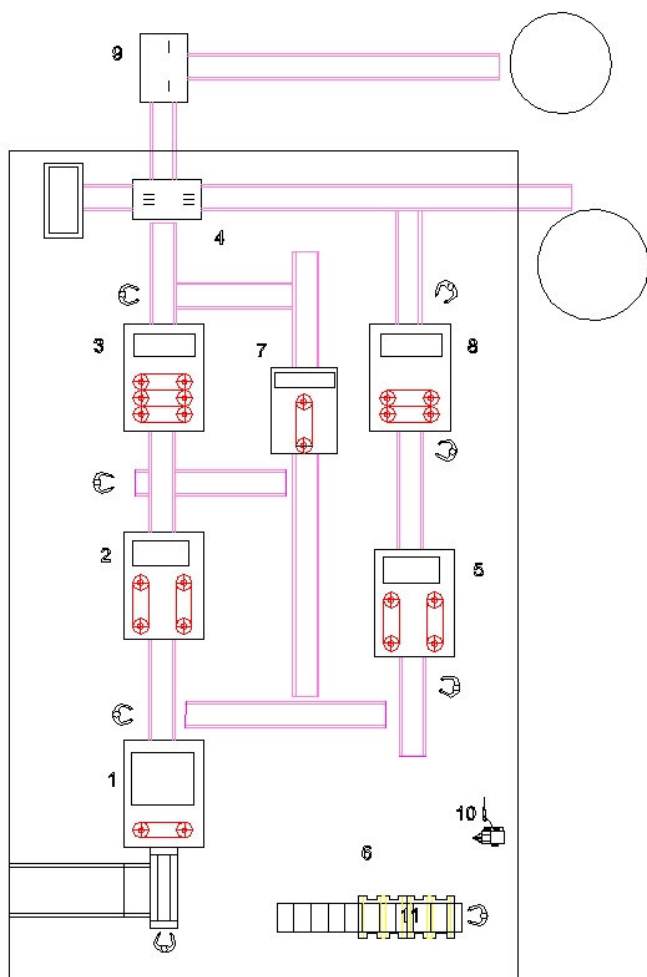
| | <i>Consumo de madeira bruta (m³/mês)</i> | <i>Volume de madeira serrada (m³/mês)</i> | <i>Volume de cavaco (m³/mês)</i> | <i>Volume de pó-de-serra (m³/mês)</i> |
|----------------------|---|--|---|--|
| mai/09 | 838 | 283 | 288 | 182 |
| jun/09 | 807 | 256 | 295 | 177 |
| jul/09 | 884 | 251 | 281 | 197 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 840 | 281 | 301 | 198 |
| mar/10 | 845 | 298 | 284 | 177 |
| abr/10 | 847 | 279 | 289 | 207 |
| máximo | 884 | 298 | 314 | 207 |
| mínimo | 807 | 241 | 276 | 177 |
| média | 838 | 274 | 293 | 189 |
| desvio padrão | 22 | 17 | 13 | 10 |

Tabela 06. Dados da fatura de energia da Serraria A.

| | <i>Consumo</i> | | <i>Demanda</i> | | <i>Energia reativa excedente</i> | | <i>Demanda reativa excedente</i> | |
|----------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| | Ponta (kWh) | Fora de ponta (kWh) | Ponta (kW) | Fora de ponta (kW) | Ponta (kVARh) | Fora de ponta (kVARh) | Ponta (kVAr) | Fora de ponta (kVAr) |
| mai/09 | 280 | 5625 | 10 | 89 | 4 | 881 | 4 | 53 |
| jun/09 | 284 | 5739 | 10 | 83 | 4 | 581 | 5 | 62 |
| jul/09 | 308 | 5567 | 10 | 86 | 3 | 572 | 4 | 57 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 326 | 5863 | 8 | 77 | 4 | 776 | 5 | 32 |
| mar/10 | 196 | 5542 | 9 | 79 | 3 | 507 | 3 | 66 |
| abr/10 | 367 | 5637 | 9 | 85 | 4 | 415 | 4 | 46 |
| máximo | 367 | 5937 | 10 | 89 | 4 | 976 | 5 | 66 |
| mínimo | 196 | 5542 | 8 | 66 | 2 | 415 | 3 | 32 |
| média | 280 | 5684 | 9 | 79 | 3 | 690 | 4 | 50 |
| desvio padrão | 58 | 121 | 1 | 7 | 1 | 176 | 1 | 11 |

4.1.3.3 Processamento da Madeira na Serraria B

O lay-out com os principais equipamentos e o panorama geral da serraria pode ser visto na Figura 27. A potência total dos equipamentos da área industrial é de 368 kW. O enquadramento tarifário é o horo-sazonal verde trifásico.



Legenda

1. Serra de fita horizontal (29 kW)
2. Serra de fita vertical – geminada (44 kW)
3. Serra de fita horizontal (33 kW)
4. Dogueira (15 kW)
5. Serra de fita vertical (33 kW)
6. Serra refiladeira (29 kW)
7. Serra multilâminas (37 kW)
8. Serra de fita horizontal (44 kW)
9. Picador (37 kW)
10. Compressor (7 kW)

Figura 27. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria B.

Nas Tabelas 07 e 08 são listados partes dos dados de produção e da fatura de energia da Serraria B.

Tabela 07. Dados de produção da Serraria B.

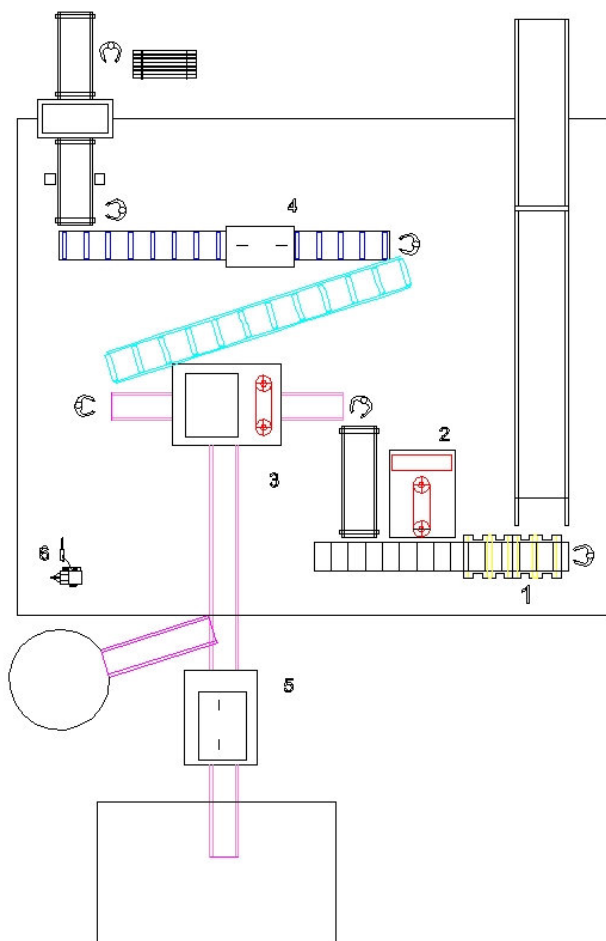
| | <i>Consumo de madeira bruta (m³/mês)</i> | <i>Volume de madeira serrada (m³/mês)</i> | <i>Volume de cavaco (m³/mês)</i> | <i>Volume de pó-de-serra (m³/mês)</i> |
|----------------------|---|--|---|--|
| mai/09 | 3114 | 1277 | 1117 | 468 |
| jun/09 | 3145 | 1190 | 1157 | 430 |
| jul/09 | 3123 | 1251 | 981 | 413 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 3162 | 1308 | 1154 | 448 |
| mar/10 | 3122 | 1258 | 1108 | 423 |
| abr/10 | 2929 | 1217 | 977 | 402 |
| máximo | 3162 | 1308 | 1157 | 468 |
| mínimo | 2929 | 1177 | 975 | 401 |
| média | 3050 | 1232 | 1074 | 434 |
| desvio padrão | 89 | 41 | 69 | 25 |

Tabela 08. Dados da fatura de energia da Serraria B.

| | <i>Consumo</i> | | <i>Demanda</i> | | <i>Energia reativa excedente</i> | | <i>Demanda reativa excedente</i> | |
|----------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| | Ponta (kWh) | Fora de ponta (kWh) | Ponta (kW) | Fora de ponta (kW) | Ponta (kVARh) | Fora de ponta (kVARh) | Ponta (kVAr) | Fora de ponta (kVAr) |
| mai/09 | 328 | 18175 | 9 | 189 | 4 | 1224 | 8 | 69 |
| jun/09 | 414 | 18372 | 17 | 174 | 4 | 1270 | 6 | 103 |
| jul/09 | 415 | 18430 | 14 | 186 | 3 | 1201 | 5 | 74 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 470 | 19290 | 11 | 189 | 4 | 1388 | 8 | 118 |
| mar/10 | 317 | 17738 | 15 | 186 | 4 | 1647 | 5 | 88 |
| abr/10 | 431 | 19343 | 10 | 182 | 4 | 1654 | 7 | 90 |
| máximo | 472 | 19587 | 19 | 189 | 4 | 1858 | 9 | 118 |
| mínimo | 303 | 17494 | 9 | 174 | 3 | 1201 | 5 | 68 |
| média | 375 | 18447 | 14 | 184 | 4 | 1445 | 7 | 95 |
| desvio padrão | 63 | 781 | 3 | 5 | 0 | 234 | 1 | 18 |

4.1.3.4 Processamento da Madeira na Serraria C

O lay-out com os principais equipamentos e o panorama geral da serraria podem ser visto na Figura 28. A potência total dos equipamentos da área industrial é de 173 kW. O enquadramento tarifário é o horo-sazonal verde trifásico.



Legenda

1. Carro porta-tora (7 kW)
2. Serra de fita vertical (37 kW)
3. Serra multilâminas (29 kW)
4. Serra de fita horizontal (29 kW)
5. Picador (29 kW)
6. Compressor (4 kW)

Figura 28. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria C.

Nas Tabelas 09 e 10 são listados partes dos dados de produção e da fatura de energia da Serraria C.

Tabela 09. Dados de produção da Serraria C.

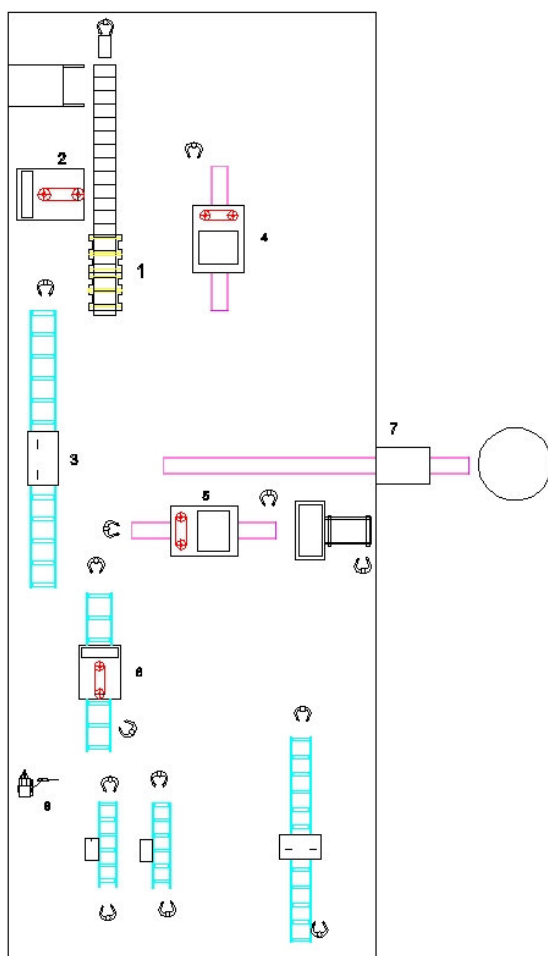
| | <i>Consumo de madeira bruta (m³/mês)</i> | <i>Volume de madeira serrada (m³/mês)</i> | <i>Volume de cavaco (m³/mês)</i> | <i>Volume de pó-de-serra (m³/mês)</i> |
|----------------------|---|--|---|--|
| mai/09 | 1721 | 708 | 669 | 209 |
| jun/09 | 1702 | 623 | 674 | 231 |
| jul/09 | 1829 | 708 | 656 | 238 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 1861 | 651 | 740 | 226 |
| mar/10 | 1878 | 745 | 677 | 226 |
| abr/10 | 1682 | 728 | 662 | 221 |
| máximo | 1893 | 747 | 748 | 252 |
| mínimo | 1674 | 623 | 656 | 191 |
| média | 1779 | 701 | 696 | 221 |
| desvio padrão | 85 | 39 | 32 | 16 |

Tabela 10. Dados da fatura de energia da Serraria C.

| | <i>Consumo</i> | | <i>Demanda</i> | | <i>Energia reativa excedente</i> | | <i>Demanda reativa excedente</i> | |
|----------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| | Ponta (kWh) | Fora de ponta (kWh) | Ponta (kW) | Fora de ponta (kW) | Ponta (kVARh) | Fora de ponta (kVARh) | Ponta (kVAr) | Fora de ponta (kVAr) |
| mai/09 | 233 | 9151 | 9 | 93 | 3 | 803 | 7 | 83 |
| jun/09 | 292 | 8963 | 12 | 100 | 3 | 635 | 10 | 90 |
| jul/09 | 297 | 7972 | 13 | 95 | 7 | 786 | 8 | 86 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 213 | 7568 | 8 | 84 | 1 | 789 | 5 | 80 |
| mar/10 | 235 | 8364 | 9 | 85 | 1 | 968 | 6 | 83 |
| abr/10 | 262 | 9373 | 10 | 88 | 1 | 1341 | 7 | 90 |
| máximo | 312 | 9373 | 13 | 101 | 7 | 1341 | 10 | 91 |
| mínimo | 188 | 6631 | 8 | 84 | 1 | 546 | 5 | 73 |
| média | 243 | 8117 | 10 | 89 | 2 | 799 | 7 | 83 |
| desvio padrão | 39 | 984 | 2 | 6 | 2 | 198 | 2 | 5 |

4.1.3.5 Processamento da Madeira na Serraria D

O lay-out com os principais equipamentos e o panorama geral da serraria podem ser visto na Figura 29. A potência total dos equipamentos da área industrial é de 219 kW. O enquadramento tarifário é o horo-sazonal verde trifásico.



Legenda

1. Carro porta-tora (15 kW)
2. Serra de fita vertical simples (29 kW)
3. Serra refiladeira (22 kW)
4. Serra de fita horizontal (29 kW)
5. Serra de fita horizontal (29 kW)
6. Serra de fita vertical simples (22 kW)
7. Picador (29 kW)
8. Compressor (6 kW)

Figura 29. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria D.

Nas Tabelas 11 e 12 são listados partes dos dados de produção e da fatura de energia da Serraria D.

Tabela 11. Dados de produção da Serraria D.

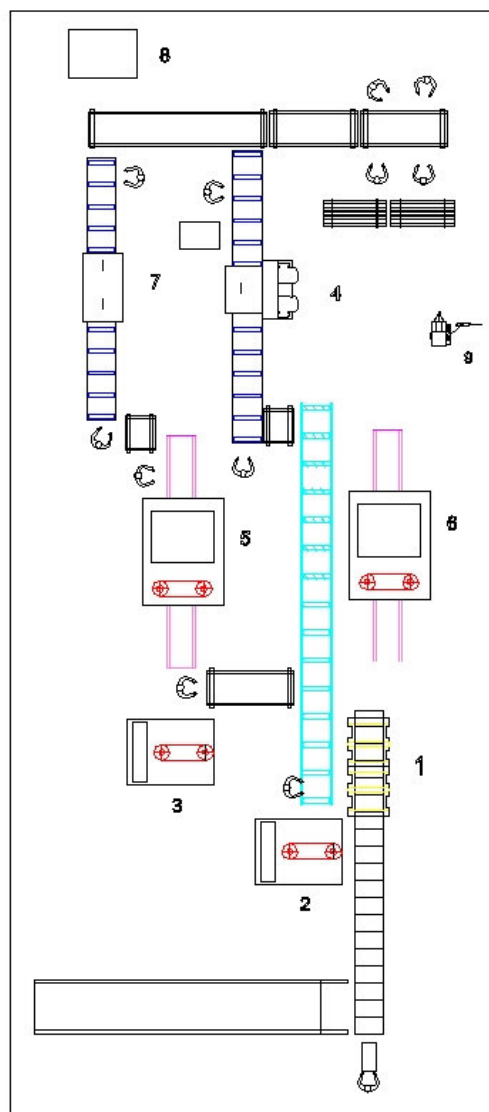
| | <i>Consumo de madeira bruta (m³/mês)</i> | <i>Volume de madeira serrada (m³/mês)</i> | <i>Volume de cavaco (m³/mês)</i> | <i>Volume de pó-de-serra (m³/mês)</i> |
|----------------------|---|--|---|--|
| mai/09 | 1178 | 418 | 402 | 231 |
| jun/09 | 1234 | 394 | 459 | 203 |
| jul/09 | 1147 | 385 | 453 | 210 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 1202 | 406 | 413 | 204 |
| mar/10 | 1145 | 393 | 391 | 207 |
| abr/10 | 1108 | 397 | 450 | 192 |
| máximo | 1234 | 424 | 459 | 243 |
| mínimo | 991 | 384 | 391 | 192 |
| média | 1124 | 404 | 425 | 218 |
| desvio padrão | 72 | 16 | 23 | 18 |

Tabela 12. Dados da fatura de energia da Serraria D.

| | <i>Consumo</i> | | <i>Demanda</i> | | <i>Energia reativa excedente</i> | | <i>Demanda reativa excedente</i> | |
|----------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| | Ponta (kWh) | Fora de ponta (kWh) | Ponta (kW) | Fora de ponta (kW) | Ponta (kVARh) | Fora de ponta (kVARh) | Ponta (kVAr) | Fora de ponta (kVAr) |
| mai/09 | 238 | 6755 | 9 | 101 | 2 | 756 | 7 | 97 |
| jun/09 | 377 | 7907 | 11 | 99 | 4 | 768 | 5 | 82 |
| jul/09 | 368 | 8010 | 10 | 106 | 4 | 829 | 4 | 80 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 287 | 7560 | 11 | 105 | 3 | 802 | 5 | 75 |
| mar/10 | 123 | 8408 | 9 | 99 | 3 | 772 | 8 | 85 |
| abr/10 | 298 | 7079 | 10 | 82 | 4 | 748 | 7 | 79 |
| máximo | 386 | 8536 | 11 | 107 | 4 | 994 | 8 | 108 |
| mínimo | 112 | 6755 | 9 | 77 | 2 | 705 | 4 | 73 |
| média | 265 | 7760 | 10 | 94 | 4 | 793 | 6 | 83 |
| desvio padrão | 91 | 598 | 1 | 11 | 1 | 82 | 2 | 12 |

4.1.3.6 Processamento da Madeira na Serraria E

O lay-out com os principais equipamentos e o panorama geral da serraria pode ser visto na Figura 30. A potência total dos equipamentos da área industrial é de 434 kW. O enquadramento tarifário é o horo-sazonal verde trifásico.



Legenda

1. Carro porta-toras (22 kW)
2. Serra de fita vertical (44 kW)
3. Serra de fita vertical (44 kW)
4. Serra multilâminas (74 kW)
5. Serra de fita horizontal (37 kW)
6. Serra de fita horizontal (37 kW)
7. Serra refiladeira (37 kW)
8. Picador (55 kW)
9. Compressor (11 kW)

Figura 30. Lay-out e panorama do setor produtivo da Serraria E.

Nas Tabelas 13 e 14 são listados partes dos dados de produção e da fatura de energia da Serraria E.

Tabela 13. Dados de produção da Serraria E.

| | <i>Consumo de madeira bruta (m³/mês)</i> | <i>Volume de madeira serrada (m³/mês)</i> | <i>Volume de cavaco (m³/mês)</i> | <i>Volume de pó-de-serra (m³/mês)</i> |
|----------------------|---|--|---|--|
| mai/09 | 3118 | 1020 | 974 | 573 |
| jun/09 | 2679 | 894 | 1012 | 566 |
| jul/09 | 2974 | 929 | 1079 | 542 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 2945 | 933 | 988 | 554 |
| mar/10 | 2866 | 1021 | 1070 | 535 |
| abr/10 | 2707 | 826 | 1104 | 537 |
| máximo | 3132 | 1197 | 1149 | 595 |
| mínimo | 2669 | 826 | 974 | 501 |
| média | 2870 | 982 | 1054 | 555 |
| desvio padrão | 155 | 114 | 53 | 28 |

Tabela 14. Dados da fatura de energia da Serraria E.

| | <i>Consumo</i> | | <i>Demanda</i> | | <i>Energia reativa excedente</i> | | <i>Demanda reativa excedente</i> | |
|----------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| | Ponta (kWh) | Fora de ponta (kWh) | Ponta (kW) | Fora de ponta (kW) | Ponta (kVARh) | Fora de ponta (kVARh) | Ponta (kVAr) | Fora de ponta (kVAr) |
| mai/09 | 115 | 18257 | 12 | 227 | 4 | 1786 | 9 | 72 |
| jun/09 | 110 | 17832 | 10 | 235 | 4 | 1942 | 9 | 91 |
| jul/09 | 73 | 17903 | 9 | 217 | 4 | 1824 | 7 | 129 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| fev/10 | 145 | 18629 | 7 | 194 | 2 | 1940 | 9 | 78 |
| mar/10 | 96 | 17765 | 11 | 223 | 3 | 1998 | 9 | 79 |
| abr/10 | 125 | 21334 | 12 | 240 | 2 | 1901 | 9 | 77 |
| máximo | 156 | 21960 | 12 | 240 | 4 | 2057 | 9 | 129 |
| mínimo | 53 | 16935 | 7 | 194 | 2 | 1644 | 7 | 72 |
| média | 102 | 19088 | 10 | 219 | 3 | 1910 | 9 | 91 |
| desvio padrão | 32 | 1786 | 2 | 14 | 1 | 121 | 1 | 17 |

4.1.4. Equipamentos Utilizados

Os principais equipamentos utilizados para coleta de dados são de uso e propriedade dos campus da F.C.A. de Botucatu e Experimental de Itapeva ambos da UNESP e estão listados a seguir:

- Analisador Portátil Saga 4500
- Alicates Wattímetro Digital MINIPA ET-4090

Os aparelhos SAGA 4500 são analisadores e registradores eletrônicos de sistemas elétricos monofásicos ou trifásicos equilibrados ou não. Foram concebidos para uso portátil em redes de distribuição, para instalação ao tempo ou em cabines primárias ou em circuitos diversos de baixa tensão, sem necessidade de desligamento do circuito e que atende a portarias do DNAEE e da ANEEL. Na Figura 31 é mostrado o equipamento citado.



Figura 31. Analisador Portátil Saga 4500.

Para otimização do uso em campo, ambos os analisadores portáteis possuem memória de massa interna (RAM) que permite registrar até 10 (dez) “campanhas” de medição sem necessidade de “descarregar” o equipamento no microcomputador ou leitor portátil.

Entende-se por “campanha”, o período em que o analisador fica instalado em um circuito registrando dados em sua memória. Este período pode ser programado com data e hora de início e data e hora de término (durante uma semana, por exemplo) e o intervalo entre um registro e outro também pode ser programado (quinze minutos, por exemplo).

Entende-se por “descarregar” o equipamento o processo de conectá-lo a porta serial de um microcomputador ou leitor coletor portátil através de um cabo apropriado, como o M1000, que é fornecido com o kit dos analisadores da Família SAGA4000 e 4500.

Para completar esta etapa de “descarregar” é utilizado um software da linha PLA WIN para ler todas as campanhas armazenadas na memória do equipamento (até 10) e formar um arquivo para cada uma, que poderá ser analisado pelo próprio software posteriormente ou convertido em uma planilha do tipo “Excel”.

Cada leitura de uma “campanha” tem os seguintes registros:

- Grandezas com a data e que ocorreu o registro;
- Quantidade de energia do período medido;
- Parametrização do local onde foi realizada a campanha;
- RTP, RTC, intervalo de registro, grandezas que estão sendo registradas, códigos do local, etc.

Para a análise dos dados é utilizado o software da família PLA WIN fornecido com o kit dos analisadores da Família SAGA4000 e 4500.

Estes aplicativos são a ferramenta de comunicação entre o micro computador e os analisadores de energia. Sua função é a parametrização, leitura e análise dos dados armazenado no medidor. A interface deste software com o usuário é semelhante a outros programas que trabalham no ambiente Microsoft Windows.

O alicate wattímetro digital MINIPA modelo ET-4090 é um instrumento digital portátil para medidas de potência (kW) e THD%-F com interface RS-232, de acordo com a categoria III 600V de segurança, leitura True RMS, congelamento da leitura, leitura de pico, auto desligamento e LCD 3 3/4 dígitos com iluminação.

Realiza medidas de potência ativa, aparente e reativa, fator de potência, distorção harmônica total (THD%-F), tensão DC e AC, corrente AC, resistência, temperatura e frequência. Pode-se utilizá-lo ligado a um computador utilizando o protocolo RS-232, ou seja, ligado a uma porta serial.

4.1.5. Simulações através de Programas Matemático-Computacionais

Para as simulações referentes ao uso da teoria fuzzy para análise dos indicadores de eficiência energética, foi utilizado o ambiente de computação científica MATLAB e estas simulações foram realizadas junto ao Departamento de Engenharia Elétrica da FEB-UNESP e junto ao Departamento de Matemática da FC-UNESP, ambos localizados no campus da UNESP em Bauru-SP.

Diversos usos distintos podem ser feitos através do MATLAB, dentre eles o uso de vários *toolboxes*, cada qual destinado a tratar diferentes classes de problemas científicos. Dentre *toolboxes* disponíveis, será utilizado o *Fuzzy Logical Toolbox*.

4.2. Métodos

A metodologia proposta tem como objetivo contemplar os itens a seguir:

- O estudo das indústrias madeireiras de maneira geral, verificando layout's utilizados para o processamento de madeira, rendimentos do processamento da madeira e resíduos gerados;
- Condições de máquinas e equipamentos, condições das instalações elétricas, características do uso da energia elétrica e políticas gerenciais de manutenção das empresas;

- O estabelecimento e a atualização de fatores e índices de eficiência energética para a atividade industrial madeireira;
- A metodologia de projeto de dois sistemas de apoio à decisão utilizando lógica fuzzy na sua construção e desenvolvimento. Um para a parte gerencial e outro para a parte tecnológica, realizando comparação de consumos específicos e fatores para uso na indústria madeireira.

As etapas da metodologia, envolvendo a caracterização das serrarias, determinação de índices de eficiência, construção e modelagem do sistema fuzzy, estão descritas através de um fluxograma na Figura 32.

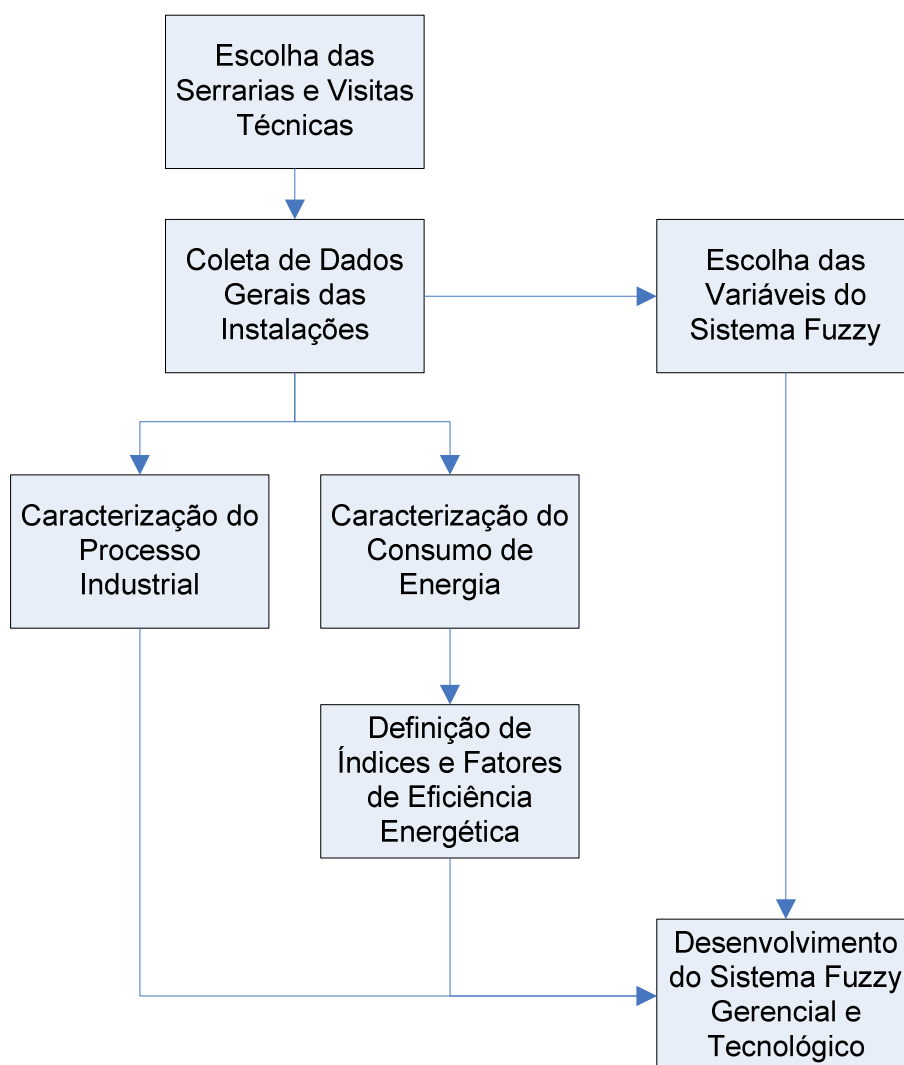


Figura 32. Fluxograma de desenvolvimento da metodologia.

Os valores relativos ao Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP – Campus Experimental de Itapeva são estimativas de projeto, já que este laboratório não funciona para fins comerciais e sim didáticos, tendo assim algumas diferenças quando comparado com as serrarias estudadas.

4.2.1. Escolha das Serrarias, Visitas Técnicas e Coleta de Dados Gerais das Instalações

Foram verificadas oportunidades de implantação de eficiência energética neste segmento industrial. Seguindo-se a isso, realizou-se entrevistas com integrantes do setor industrial madeireiro.

Os dados de produção foram aferidos, envolvendo inclusive dados tidos como subjetivos ou abstratos, mas que são utilizados na confecção da base de regras do sistema fuzzy proposto.

Os dados elétricos coletados também são utilizados no sistema fuzzy e a partir destes foi realizada uma atualização do índice utilizado por algumas indústrias que na maior parte das vezes é a relação entre volume de produção e gasto de energia elétrica.

Todos os dados coletados neste trabalho são classificados estatisticamente como variáveis quantitativas contínuas, pois representam operações de medição, de acordo com a classificação adotada por Vieira (2003) em relação às informações e dados estatísticos.

Optou-se por fazer a análise estatística de forma descritiva. Nas tabelas de dados são explicitados os valores mínimos e máximos, obtendo assim a amplitude. Também é calculado o desvio padrão e a média, sendo esta última utilizada para o estabelecimento dos índices calculados e dos parâmetros do sistema de suporte fuzzy.

4.2.2. Caracterização do Processo Industrial

Para a comparação das serrarias de forma a termos parâmetros confiáveis para o estabelecimento de índices e fatores que auxiliem na eficiência energética, foi realizada uma caracterização da produção, ou seja, foram investigados os dados dos equipamentos e a seqüência do fluxo de produção.

De forma geral temos uma série de equipamentos e/ou processos na produção entre os quais se pode citar Serra Fita Vertical, Refiladeira, Serra Fita Horizontal, Serra Multilâminas, Picador.

O Laboratório de Processamento da Madeira e as cinco serrarias foram caracterizados através de lay-out do processo produtivo, indicando e descrevendo os equipamentos e pontos principais deste processo. Com a localização dos principais equipamentos, foram definidos os pontos para instalação do analisador de grandezas elétricas para a coleta dos dados elétricos que foram utilizados na análise e proposição da eficiência energética das instalações e equipamentos.

Ainda na caracterização das empresas foram verificadas políticas e práticas de eficiência energética e manutenção – através da verificação das condições das instalações de máquinas e equipamentos, além da presença de corpo técnico qualificado. Estes dados são utilizados no desenvolvimento dos sistemas fuzzy propostos.

4.2.2.1 Rendimento do Processamento da Madeira

Nas Serrarias “A”, “B”, “C”, “D” e “E” e foram coletados dados de volume em m³ de toras utilizadas no processo, volume em m³ dos resíduos gerados, volume em m³ de madeira serrada. Para cada um dos itens citados foram também levantados os custos para aquisição e preços de venda, tanto da madeira serrada, como dos resíduos gerados.

O rendimento das serrarias foi calculado utilizando a Equação 08:

$$R = \frac{Vms}{Vmb} \cdot 100 \quad (08)$$

onde:

R = rendimento da serraria médio mensal, em [%];

Vms = volume de madeira serrada médio mensal, em [m³];

Vmb = volume de madeira bruta médio mensal, em [m³].

4.2.3. Caracterização do Consumo de Energia

Nas visitas técnicas e de prospecção, pontos importantes de consumo nas instalações elétricas foram identificados.

Para estabelecer os indicadores de eficiência energética foram coletadas as faturas de energia das Serrarias “A”, “B”, “C”, “D” e “E”. O Laboratório de Processamento da Madeira, por ser experimental, não foi considerada nesta etapa.

Através da leitura e análise da fatura de energia fornecida pela concessionária de energia, foram coletados dados de consumo na ponta e fora de ponta, demanda na ponta e fora de ponta, demanda reativa excedente na ponta e fora de ponta e energia reativa excedente na ponta e fora de ponta.

Estes valores nos fornecem, através de cálculos, alguns indicadores tais como fator de potência e fator de carga. Estes fatores também foram verificados através do analisador de redes de energia SAGA para períodos menores aos descritos nas faturas de energia, de forma a caracterizar o processo, evidenciando assim suas características.

Nas Serrarias “B” e “C”, foram realizadas medidas dos parâmetros elétricos no ponto de conexão da serraria com a rede de fornecimento da concessionária.

Os dados elétricos foram coletados através dos analisadores de grandezas elétricas SAGA 4000/4500. Foram realizadas medições de acordo com os parâmetros de intervalo utilizados pelas concessionárias de energia para aferição do consumo, ou seja, de 15 em 15 minutos.

Inicialmente foi utilizada a capacidade completa no que diz respeito à configuração dos canais dos equipamentos utilizado para a coleta de dados elétricos. No decorrer do trabalho será evidenciado o uso de alguns dos dados coletados nesses canais.

Na Serraria “C” foram coletados dados em dois equipamentos do processo industrial, a serra de fita vertical e o picador, para verificar o consumo de energia elétrica dos motores e seu comportamento no processo industrial. Assim, foram quantificados para um ciclo de operações todos os parâmetros elétricos que podem ser aferidos pelo analisador de grandezas elétricas SAGA.

Para melhor caracterização do processo industrial, na serraria “C”, foi utilizado em algumas medições o intervalo de 2 segundos, que é o mínimo que pode ser aferido através do analisador utilizado.

A motivação para esta alteração está no fato de que o processo industrial tem alta variação de períodos em que os equipamentos estão com ou sem carga (em vazio). Assim, o intervalo menor nos fornece melhor visão geral do processo no que diz respeito ao comportamento das grandezas elétricas aferidas.

As características do processo em relação aos parâmetros elétricos medidos são evidenciadas nas curvas de potência e do fator de potência.

4.2.4. Definição de Índices e Fatores de Eficiência Energética

Os índices e fatores de eficiência energética foram definidos utilizando dados da caracterização do processo industrial e dados de consumo de energia elétrica das serrarias.

4.2.4.1 Consumo Específico

O consumo específico utilizado foi calculado através da razão entre o consumo de energia elétrica na ponta e fora de ponta dividido pelo volume de madeira serrada. Os valores estabelecidos serão sempre médias mensais.

O cálculo do consumo específico médio mensal destas serrarias estudadas foi realizado de acordo com a Equação 09:

$$CE = \frac{Ca}{Vms} \quad (09)$$

onde:

CE = consumo específico médio mensal, em [kWh/m³];

Ca = consumo de energia ativa médio mensal, em [kWh];

Vms = volume de madeira serrada médio mensal, em [m³].

Este valor pode ser utilizado como parâmetro por serrarias do mesmo porte que utilizam pinus como matéria prima e será considerado no desenvolvimento do sistema de suporte fuzzy proposto para a parte tecnológica.

4.2.4.2 Fator de Potência

Através da fatura de energia pode-se calcular o fator de potência médio mensal e o fator de carga médio mensal. Assim como o consumo específico calculado, os valores do fator de potência e do fator de carga podem ser utilizados como parâmetro por serrarias do mesmo porte que utilizam pinus como matéria prima e também são considerados no desenvolvimento do sistema de suporte fuzzy proposto para a parte tecnológica.

O fator de potência das empresas enquadradas no sistema tarifário horo-sazonal verde trifásico não é apresentado pela concessionária de distribuição de energia diretamente na fatura de energia.

Este valor foi calculado utilizando dados da fatura de energia, envolvendo os consumos de energia ativa e reativa na ponta e fora de ponta. A expressão da função básica do fator de potência relacionando potência ativa e reativa está descrita na Equação 10:

$$FP = \left(\frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \right) \quad (10)$$

onde:

FP = valor do fator de potência médio mensal;

P = potência ativa média mensal, em [kW];

Q = potência reativa média mensal, em [kVAr].

4.2.4.3 Fator de Carga

O cálculo do fator de carga médio mensal foi realizado de acordo com a Equação 11:

$$FC = \frac{C}{D.t} \quad (11)$$

onde:

FC = fator de carga médio mensal;

C = consumo de energia médio mensal, em [kWh];

D = demanda média mensal, em [kW];

t = tempo, em [h].

Foi calculado também o fator de carga em relação aos horários de ponta e fora de ponta do enquadramento tarifário horo-sazonal verde trifásico, alterando-se o denominador da Equação 11, de 730 para 65 horas no caso do horário de ponta e de 730 para 665 horas no caso do horário fora de ponta, conforme mostrado nas Equações 12 e 13:

$$FC_p = \frac{C_p}{D_p.t_p} \quad (12)$$

$$FC_{fp} = \frac{C_{fp}}{D_{fp}.t_{fp}} \quad (13)$$

onde:

FC_p = fator de carga médio mensal na ponta;

FC_{fp} = fator de carga médio mensal fora de ponta;

C_p = consumo médio mensal na ponta, em [kWh];

C_{fp} = consumo médio mensal fora de ponta, em [kWh];

D_p = demanda medida média mensal na ponta, em [kW];

D_{fp} = demanda medida média mensal fora de ponta, em [kW];

t_p = tempo na ponta, em [h];

t_{fp} = tempo fora de ponta, em [h].

4.2.4.4 Fator de Demanda

O uso da capacidade instalada da serraria, considerando valores de demanda utilizada e da potência instalada no parque industrial, foi calculado através do fator de demanda.

O fator de demanda é um fator de projeto e pode ser calculado com dados da fatura de energia e das cargas instaladas na planta industrial.

O cálculo do fator de demanda foi realizado de acordo com a Equação 14:

$$FD = \frac{Dm}{Pi} \quad (14)$$

onde:

FD = Fator de demanda.

Dm = Demanda máxima, em [kW].

Pi = Potencia nominal dos equipamentos instalados na planta industrial, em [kW].

Com os dados coletados podem ser calculados diversos outros tipos de fatores, porém para o objetivo principal deste trabalho que é o desenvolvimento de um sistema de apoio a decisão baseado em lógica fuzzy, estes fatores são discutidos quando da escolha das variáveis do sistemas fuzzy propostos.

4.2.5. Escolha das Variáveis do Sistema Fuzzy e Desenvolvimento do Sistema Fuzzy Gerencial e Tecnológico

A forma escolhida para indicar os níveis de eficiência energética a partir da análise dos dados gerenciais e energéticos das serrarias foi utilizar conceitos da lógica fuzzy, que ao contrário da lógica tradicional, não impõe limites bruscos, proporcionando graus de pertinência de elementos a uma determinada categoria.

4.2.5.1 Modelagem do Sistema Fuzzy para a Análise da Eficiência

A construção do sistema de inferência no *Fuzzy Logical Toolbox* é iniciada através da escolha das variáveis de entrada e saída do sistema fuzzy. Em seguida, são definidos os graus de pertinência e a base de regras.

Seguindo a sistemática proposta para o desenvolvimento de um sistema fuzzy, a primeira etapa a ser realizada é a conversão das variáveis de entrada e saída em uma representação conhecida como conjuntos fuzzy e denomina-se fuzzyficação.

Inúmeros são os tipos de funções de pertinência que podem ser utilizadas. Optou-se por uma combinação das funções triangular e trapezoidal devido a sua facilidade de geração e excelente precisão nos resultados além de estarem disponíveis para pronta utilização na maioria das ferramentas matemáticas computacionais.

A segunda etapa estabelece as regras que relacionarão as variáveis de entrada e saída. Essas regras são obtidas do conhecimento e da experiência humana e denomina-se base de regras.

A terceira etapa é denominada defuzzyficação e efetua a conversão dos conjuntos fuzzy em um número que representa o estado da saída do sistema para uma determinada condição.

A Figura 33 ilustra as etapas que são utilizadas para a elaboração dos sistemas fuzzy propostos. Após estas etapas é possível implementar o sistema fuzzy computacionalmente, podendo assim, simular todas as possíveis situações descritas neste trabalho.

4.2.5.2 Variáveis para Aplicação do Modelo Fuzzy

O uso da teoria fuzzy para a análise dos indicadores de eficiência energética na indústria madeireira nos possibilita avaliar de modo real como está o nível e o quanto pode ser melhorado em termos de eficiência energética.

A escolha das variáveis de entrada deve levar em consideração o fato de o sistema fuzzy ser proposto para a tarefa de substituir um operador humano. Para melhor aplicação e visualização de oportunidades, o sistema fuzzy proposto foi dividido em dois, um gerencial e o outro tecnológico, com variáveis de entrada e saída distintas.

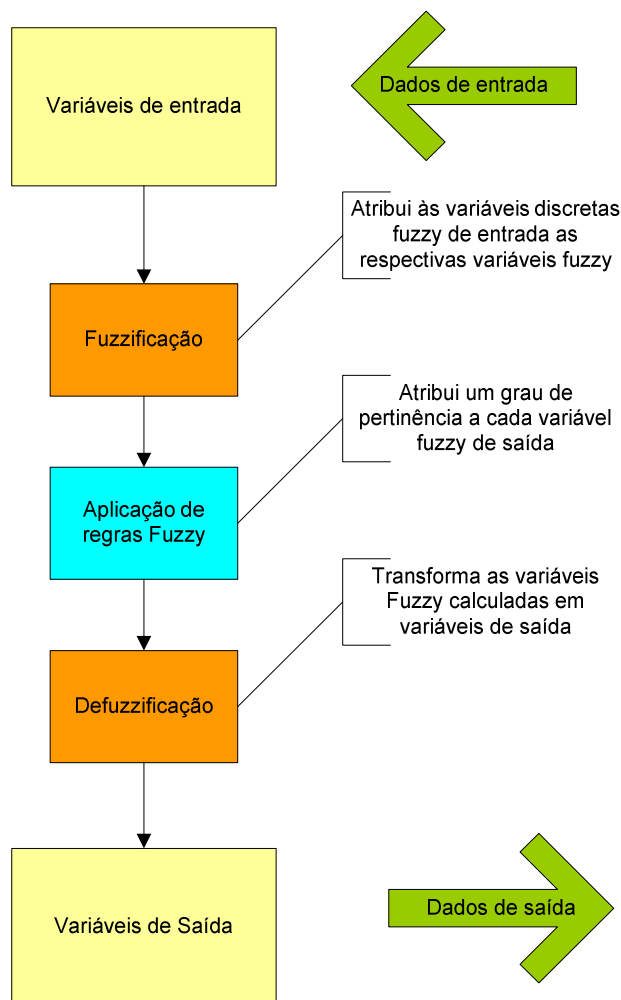


Figura 33. Etapas da modelagem fuzzy.

Fonte: Adaptado de (Caneppele, 2007).

A revisão de literatura e o estado da arte no que diz respeito aos modelos e metodologias existentes para projetos de eficiência energética, leva a escolha das variáveis que serão “fuzzificadas”.

A parte gerencial envolve as políticas e costumes da empresa no que diz respeito à administração de todo o processo industrial. Nesta parte as variáveis serão as práticas de eficiência energética, de manutenção de instalações e equipamentos da área industrial, presença de corpo técnico qualificado.

Com essas variáveis, o sistema fuzzy proposto interpretará, de acordo com as regras a serem descritas, qual será a possibilidade de aumento do nível de eficiência real da planta industrial.

A parte tecnológica envolve os consumos e fatores de desempenho de instalações e equipamentos. Nesta parte as variáveis serão o fator de potência, o fator de carga, fator de demanda e o consumo específico. É importante ressaltar que as variáveis escolhidas levam em consideração o fato de que esses dados são de fácil aquisição para o gerente ou proprietário da empresa.

Da mesma forma que o anterior, com essas variáveis, o sistema fuzzy proposto interpretará, de acordo com as regras a serem descritas, qual será o nível de eficiência real da planta industrial.

O uso de outras variáveis no sistema de suporte fuzzy proposto, como o fator de utilização, pode ser considerado desde que sejam instalados analisadores de energia na instalação industrial ou que seja feita a análise do memorial de carga fornecido pela concessionária de energia.

4.2.5.3 Determinação dos Conjuntos Fuzzy

Para a obtenção dos conjuntos fuzzy que representam o comportamento das variáveis da parte gerencial e tecnológica, é necessário, inicialmente, definir os limites inferior e superior, bem como a amplitude dos intervalos de variação destas duas grandezas.

Nas Tabelas 15 e 16 são mostrados estes limites e intervalos. Eles são obtidos em função do conhecimento prévio do comportamento das grandezas, os quais dependem dos dados coletados anteriormente e dos cálculos à partir desses dados.

Tabela 15. Resumo dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy na parte gerencial.

| <i>Variável</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Delimitadores</i> |
|--|---------------|---------------|----------------------|
| Práticas de eficiência energética (PEE) | 0 | 1 | 0,25 |
| Manutenção de instalações e equipamentos (MAN) | 0 | 1 | 0,25 |
| Corpo técnico qualificado (TEC) | 0 | 1 | 0,25 |
| Possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS) [%] | 0 | 100 | 25 |

Para as práticas de eficiência energética (PEE), os limites inferior e superior são 0 e 1, divididos em intervalos de 0,25 , para efeito de projeto e simulação no modelo fuzzy proposto. Considera-se que “0” significa sem prática de eficiência energética e “1” que a empresa possui programa efetivo de eficiência energética.

Para a manutenção de instalações e equipamentos (MAN), os limites inferior e superior também são 0 e 1, divididos em intervalos de 0,25. Considera-se que “0” significa que a empresa não possui programa de manutenção e “1” que a empresa possui programa efetivo de manutenção de máquinas e equipamentos.

Para a presença de corpo técnico qualificado (TEC), os limites superior e inferior são 0 e 1, divididos em intervalos de 0,25. Considera-se que “0” significa que a empresa não possui corpo técnico qualificado e “1” que a empresa possui.

Para a possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS), os limites superior e inferior são 0 e 100, divididos em intervalos de 25 % . Considera-se que “0 %” significa que a empresa não tem possibilidade do aumento do nível de eficiência e “100 %” que a empresa tem possibilidade.

Tabela 16. Resumo dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy na parte tecnológica.

| <i>Variável</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> | <i>Quartis</i> |
|---|---------------|---------------|----------------|
| Fator de potência (FP) | 0,6 | 1 | 0,02 |
| Fator de carga (FC) | 0 | 0,3 | 0,04 |
| Fator de demanda (FD) | 0,3 | 0,7 | 0,1 |
| Consumo específico (CE) [$kW.m^{-3}$] | 0 | 30 | 5 |
| Nível de eficiência energética (EE) [%] | 0 | 100 | 25 |

Para a variação fator de potência (FP), os limites inferior e superior são 0,6 e 1, que divididos em intervalos de 0,02 , para efeito de projeto e simulação no modelo fuzzy proposto. Considera-se teoricamente que “0,6” significa um baixo fator de potência e “1” que a empresa possui um alto fator de potência. A resolução ANEEL n° 456/2000 estabelece que o valor do fator de potência deve ter o valor igual ou acima de 0,92.

Para a variação do fator de carga (FC), os limites inferior e superior são de 0 e 0,3, divididos em intervalos de 0,04 . Considera-se teoricamente que “0” significa um baixo fator de carga e “0,3” que a empresa possui um alto fator de carga.

Os fatores de carga típicos são fornecidos pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica em tabelas de acordo com o ramo ou atividade industrial. As distribuidoras CPFL (2008), ELEKTRO (2009) e CELESC (2007) estabelecem nas normas utilizadas para ligação de novos consumidores fatores de carga típicos de aproximadamente 0,13 para a atividade industrial madeireira.

Para a variação do fator de demanda (FD), os limites inferior e superior são de 0,3 e 0,7, divididos em intervalos de 0,1. Considera-se teoricamente que “0,3” significa um baixo fator de demanda e “0,7” que a empresa possui um alto fator de demanda.

Da mesma forma que os dados do fator de carga, as concessionárias de distribuição de energia elétrica fornecem fatores de demanda típicos em tabelas de acordo com o ramo ou atividade industrial. As distribuidoras CPFL (2008), ELEKTRO (2009) e CELESC (2007) estabelecem nas normas utilizadas para ligação de novos consumidores fatores de demanda típicos de aproximadamente 0,46 para a atividade industrial madeireira.

Para a variação do consumo específico (CE), os limites superior e inferior são 0 kWh.m^{-3} e 30 kWh.m^{-3} , divididos em intervalos de 5 kWh.m^{-3} . Considera-se teoricamente que “ 0 kWh.m^{-3} ” significa baixo consumo de energia para o processamento da madeira e “ 30 kWh.m^{-3} ” que a empresa possui alto consumo.

Para estabelecer os valores do consumo específico, será considerado o valor calculado por Cagnon e Valarelli (2005), que determina um índice de desempenho energético com valor médio de $16,61 \text{ kWh/m}^3$, caracterizado em 10 indústrias madeireiras de médio e grande porte da região de Itapeva e Itararé - SP.

Para o nível de eficiência energética (EE), os limites superior e inferior são 0 e 100, divididos em intervalos de 25 %. Considera-se teoricamente que “0 %” significa baixo nível de eficiência energética para o processamento da madeira e “100 %” que a empresa possui alto nível.

São considerados para efeito de uso nas regras fuzzy as seguintes nomenclaturas - linguagem própria da lógica fuzzy - de característica das práticas de eficiência energética, de manutenção de instalações e equipamentos da área industrial, presença de corpo técnico qualificado e possibilidade de aumento do nível de eficiência energética, conforme descrito na Tabela 17:

Tabela 17. Nomenclatura para os conjuntos fuzzy de entrada da parte gerencial PEE, MAN e TEC e de saída POS.

| <i>Variável</i> | <i>pouca</i> | <i>média</i> | <i>boa</i> |
|--|--------------|--------------|------------|
| Práticas de eficiência energética (PEE) | X | X | X |
| Manutenção de instalações e equipamentos (MAN) | X | X | X |
| Corpo técnico qualificado (TEC) | X | X | X |
| Possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS) | X | X | X |

De maneira análoga, são considerados para efeito de uso nas regras fuzzy as seguintes nomenclaturas de característica do fator de potência, do fator de carga, do consumo específico e do nível de eficiência energética, conforme descritos na Tabela 18.

O número de conjuntos define a precisão dos resultados, mas por outro lado requer maior solicitação computacional.

Tabela 18. Nomenclatura para os conjuntos fuzzy de entrada da parte tecnológica FP, FC, FD e ID e saída EE.

| <i>Variável</i> | <i>ruim</i> | <i>médio</i> | <i>bom</i> |
|--|-------------|--------------|------------|
| Fator de potência (FP) | X | X | X |
| Fator de carga (FC) | X | X | X |
| Fator de demanda (FD) | X | X | X |
| Consumo específico (CE) | X | X | X |
| Nível de eficiência energética (EE) | X | X | X |

4.2.5.4 Grau de Pertinência

De acordo com a teoria fuzzy, cada elemento do conjunto fuzzy possui um grau de pertinência (μ), o qual representa o valor verdade – pertinência - do elemento dentro do conjunto, mostrando o comportamento relativo da grandeza em cada intervalo de variação. O grau de pertinência tem variação no intervalo fechado de números reais [0,1].

Cada elemento de (PEE), (MAN), (TEC) e (POS) pertence a dois ou mais conjuntos fuzzy distintos e possui um grau de pertinência relativamente a cada um desses conjuntos.

De forma análoga, cada elemento de (FP), (FC), (FD), (CE) e (EE) pertence a dois ou mais conjuntos fuzzy distintos e possui um grau de pertinência relativamente a cada um desses conjuntos.

Inserindo os dados dos conjuntos fuzzy no MATLAB, através da ferramenta *Fuzzy Logical Toolbox*, tem-se as funções de pertinência fuzzy com seus respectivos rótulos lingüísticos e suas extremidades determinando os limites de atuação de cada uma das funções de pertinência.

Na Figura 34, estão ilustradas as funções de pertinência associadas às variáveis de entrada “práticas de eficiência energética” do sistema proposto para a parte gerencial.

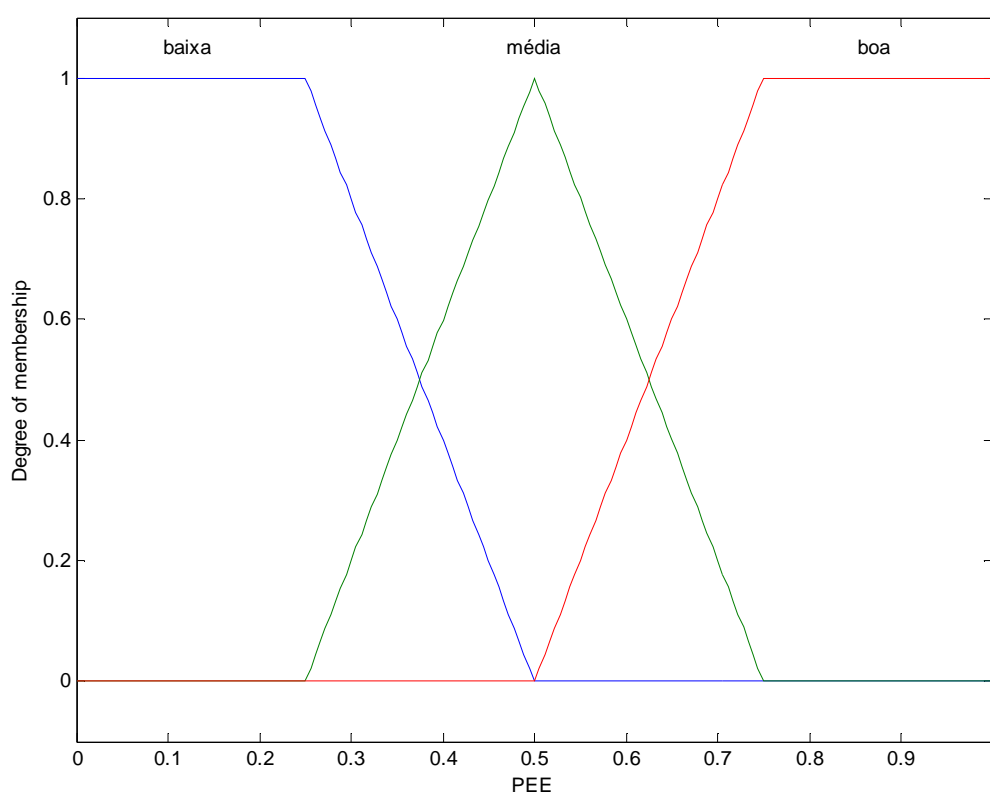


Figura 34. Função de pertinências associada à variável de entrada “práticas de eficiência energética”

As outras funções da parte gerencial, quais sejam, a de manutenção de instalações e equipamentos da área industrial, presença de corpo técnico qualificado e possibilidade de aumento do nível de eficiência real da planta industrial, são construídas de maneira análoga.

O mesmo acontece para as funções da parte tecnológica, quais sejam o fator de potência, o fator de carga, o consumo específico e o nível de eficiência real da planta industrial.

4.2.5.5 Regras Fuzzy

Uma vez definidos as funções de pertinência das variáveis de entrada e também da saída dos sistemas gerencial e tecnológico, é necessário determinar as regras do sistema fuzzy para ambos, também conhecidas como base de conhecimento ou inteligência do sistema.

O mapa de regras é elaborado durante o projeto do sistema em si, identificado todas suas características e detalhes e, irá auxiliar na identificação das decisões a serem tomadas durante a operação do processo. Ele é preenchido com o auxílio de um especialista, ou seja, um operador humano do sistema a ser controlado.

Utilizando as teorias da lógica fuzzy, este mapa de regras pode ser gerado utilizando linguagem computacional do tipo: SE (Condição) ENTÃO (Conseqüência).

Elas são escritas no editor de regra do *Fuzzy Logical Toollbox* do MATLAB que disponibiliza vários tipos de operações entre as funções de pertinência fuzzy e ainda permite que sejam criados novos tipos de funções de pertinência.

À partir de uma regra estabelecida, repetem-se os procedimentos de acordo com a entrevista ao especialista, colocando-se todas as situações que as variáveis podem apresentar e como o dará a resposta de acordo com as entradas.

Verifica-se que é através das regras que as funções de pertinência são ativadas considerando seu grau em relação a cada conjunto fuzzy. Outra característica é que as regras fuzzy são agrupadas em blocos. Os chamados blocos de regras são parte fundamental da base de conhecimento dos sistemas de suporte fuzzy. O fuzzy recorre à verificação das regras para a tomada de decisão e essas regras são processadas em paralelo.

Construído o sistema de controle fuzzy podem-se arbitrar valores numéricos para as variáveis de entrada, simulando cenários factíveis, do ponto de vista do especialista, para observar e analisar os valores obtidos para cada variável de saída.

Também é possível a utilização do difuso fora do *toolbox*, utilizando-o na área de trabalho do MATLAB com todas as suas estruturas e características.

4.2.5.6 Defuzzyficação

O passo final consiste em se efetuar a defuzzyficação que será traduzir para um valor discreto o resultado da variável lingüística de saída do que foi inferida pelas regras fuzzy. De uma forma genérica este processo nada mais é que uma transformação inversa que traduz a saída do domínio fuzzy para o domínio discreto.

Alguns métodos de defuzzyficação são utilizados, entre eles cita-se: o centro da área, centro do máximo e a média do máximo. O processo mais utilizado é o primeiro, freqüentemente chamado de centro de gravidade, pois ele calcula o centróide da área que é composta pelo resultado das operações entre os conjuntos fuzzy.

As saídas do sistema de inferência fuzzy são apresentadas de duas maneiras distintas, a primeira gerada pelas regras fuzzy utilizadas e a segunda em forma de uma superfície de associação entre as variáveis de entrada e saída.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterizações Gerais para a Área Industrial Madeireira

Os dados característicos médios mensais de consumo de madeira e produção das serrarias são listados na Tabela 19 e são coincidentes aos períodos analisados das faturas de energia elétrica. Na Figura 35 é mostrado o estoque parcial de madeira da Serraria C. Na Figura 36 pode ser vista a madeira já processada em dois métodos de processo de secagem.



Figura 35. Estoque de madeira bruta da Serraria C.

Tabela 19. Características do processamento de madeira das serrarias.

| | <i>Espécie de madeira processada</i> | <i>Origem</i> | <i>Volume de madeira bruta (m³/mês)</i> | <i>Custo da madeira bruta (R\$/m³)</i> | <i>Volume de madeira serrada (m³/mês)</i> | <i>Preço de venda da madeira serrada (R\$/m³)</i> |
|---|--------------------------------------|---|---|--|---|---|
| Laboratório de Processamento da Madeira* | <i>Pinus elliotti e Pinus taeda*</i> | adquirida de empresas de reflorestamento* | 2800* | | 1260* | |
| Serraria A | <i>Pinus elliotti</i> | reflorestamentos próprios | 838 | 110,00 | 274 | 400,00 |
| Serraria B | <i>Pinus elliotti</i> | reflorestamentos próprios | 3050 | 58,00 a 60,00 | 1232 | 280,00 – 320,00 |
| Serraria C | <i>Pinus elliotti e Pinus taeda</i> | reflorestamentos próprios | 1793 | 85,00 – 126,00 | 711 | 310 |
| Serraria D | <i>Pinus elliotti e Pinus taeda</i> | reflorestamentos próprios | 1119 | 90,00 | 402 | 220,00 |
| Serraria E | <i>Pinus elliotti</i> | reflorestamentos próprios | 2870 | 105,00 | 982 | 300,00 |

* Estimativas de projeto.



Figura 36. Madeira em processo em secagem.

A secagem da madeira por varal tem um tempo estimado em média de 15 dias e a secagem por gradeamento, aproximadamente 30 dias nas serrarias. Após o

processo de secagem, as madeiras devem ter em torno de 12% a 15% de umidade e são estocadas em um barracão até serem comercializadas.

Os resíduos médios mensais do processo industrial, com sua destinação e valor, são descritos na Tabela 20.

Na Figura 37 é mostrada a forma de armazenamento do pó-de-serra retirado da área industrial através de esteiras e na Figura 38 mostra ao fundo o produto principal do processamento da madeira e mais a frente o resíduo gerado no processo

Tabela 20. Resíduos gerados, preços e destinação.

| | <i>Volume de cavaco (m³/mês)</i> | <i>Preço de venda do cavaco (R\$/m³)</i> | <i>Destino principal do cavaco</i> | <i>Volume de pó-de-serra (m³/mês)</i> | <i>Preço de venda do pó-de-serra (R\$/m³)</i> | <i>Destino principal do pó-de-serra</i> |
|---|---|---|------------------------------------|--|--|---|
| Laboratório de Processamento da Madeira* | 980* | | estufa* | 560* | | estufa* |
| Serraria A | 290 | 24,00 | geração de energia | 189 | 14,00 | geração de energia |
| Serraria B | 1080 | 23,00 | indústrias cerâmicas | 440 | 14,00 | indústrias cerâmicas |
| Serraria C | 690 | 23,50 | indústrias cerâmicas | 230 | 12,50 | indústrias cerâmicas |
| Serraria D | 420 | 22,00 | indústrias cerâmicas | 220 | 14,00 | indústrias cerâmicas |
| Serraria E | 1090 | 22,00 | indústrias cerâmicas | 550 | 15,00 | indústrias cerâmicas |

* Estimativas de projeto.



Figura 37. Pó-de-serra acumulado durante o processamento da madeira.



Figura 38. Pó-de-serra e ao fundo a madeira processada.

Na Figura 39 pode ser visualizado um quadro comparativo com os valores de produção das serrarias pesquisadas.

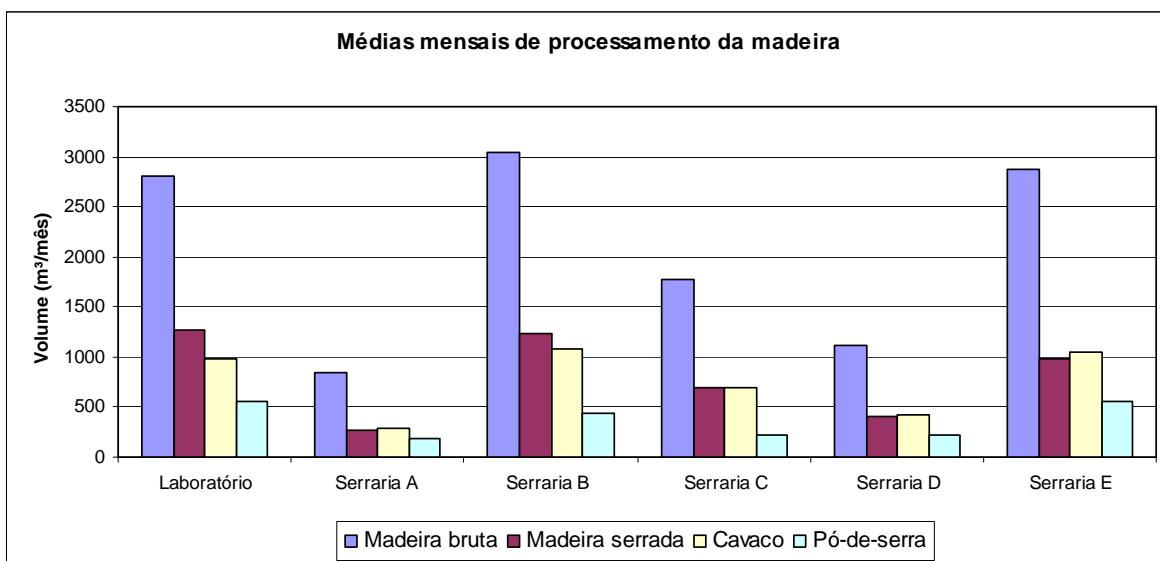


Figura 39. Comparação entre os dados médios mensais das serrarias pesquisadas.

5.1.1. Rendimento do Processamento da Madeira

O rendimento individual de cada serraria do processamento da madeira pode ser visualizado na Figura 40.

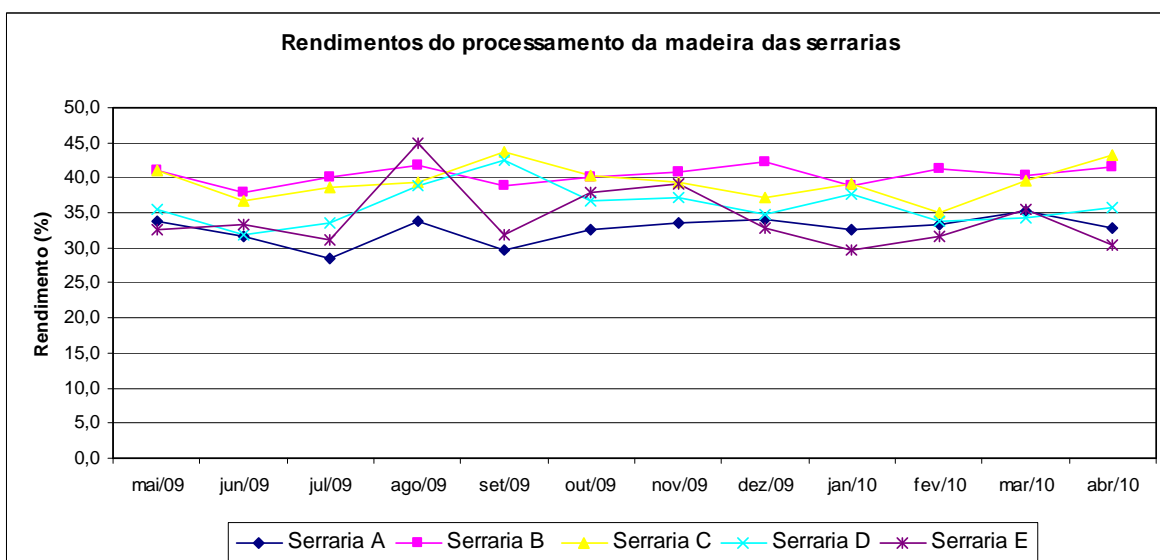


Figura 40. Rendimentos mensais do processamento da madeira das serrarias.

O rendimento médio mensal geral do processo industrial das serrarias no que diz respeito as quantitativos de produção envolvendo madeira bruta e a madeira serrada, são descritos na Tabela 21. Os rendimentos podem ser também visualizados na Figura 41.

Tabela 21. Consumo médio de madeira bruta, madeira serra e rendimentos médios do processamento da madeira.

| | <i>Consumo de madeira bruta mensal (m³/mês)</i> | <i>Volume de madeira serrada (m³/mês)</i> | <i>Rendimento geral do processo (%)</i> |
|-------------------|--|--|---|
| Serraria A | 836 | 274 | 32,7 |
| Serraria B | 3068 | 1232 | 40,1 |
| Serraria C | 1810 | 711 | 39,3 |
| Serraria D | 1156 | 402 | 34,8 |
| Serraria E | 2924 | 982 | 33,6 |

* Estimativas de projeto.

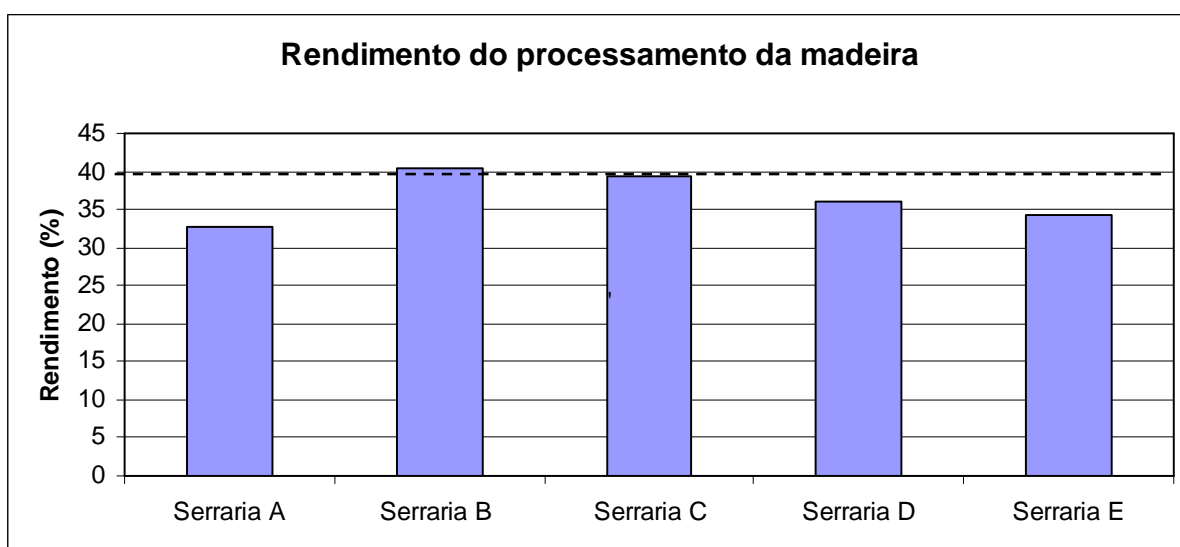


Figura 41. Rendimentos médios mensais do processamento da madeira.

O rendimento verificado nas serrarias é próximo ao valor teórico de 40% descrito na literatura. O rendimento do Laboratório de Processamento da Madeira é estimado pelo seu projeto seguindo valores teóricos e não foi verificado. Nota-se que as serrarias 'C' e 'D', têm rendimento ligeiramente acima das outras serrarias.

É importante ressaltar que é considerado como produto apenas a madeira serrada. Cavaco, pó-de-serra e similares, mesmo tendo valor de mercado são considerados subprodutos.

5.2. Caracterização das Serrarias em Relação ao Uso da Energia Elétrica

Para identificação de características do processamento da madeira foram coletados dados elétricos dos equipamentos industriais de duas serrarias.

5.2.1. Caracterização na Serraria B

Na Serraria B, o analisador de redes de energia SAGA 4500 foi conectado na entrada do fornecimento de energia conforme mostra a Figura 42 e foram coletados dados do consumo total de energia elétrica que são listados na Tabela 22.

Tabela 22. Dados elétricos da potência ativa trifásica total de energia elétrica na Serraria B.

| SAGA4500 - ESB Electronic Services | | | | |
|---|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| | | | Canal 16 | Canal 24 |
| Registro | Data | Hora | Pt(W) | FPt |
| 74 | 17/12/2009 | 6:00 | 8807 | 0,04 |
| 75 | 17/12/2009 | 6:15 | 8807 | 0,04 |
| 76 | 17/12/2009 | 6:30 | 12744 | 0,06 |
| 77 | 17/12/2009 | 6:45 | 16699 | 0,08 |
| 78 | 17/12/2009 | 7:00 | 5432 | 0,03 |
| 79 | 17/12/2009 | 7:15 | 119654 | 0,68 |
| 80 | 17/12/2009 | 7:30 | 236039 | 0,87 |
| 81 | 17/12/2009 | 7:45 | 273463 | 0,87 |
| 82 | 17/12/2009 | 8:00 | 247553 | 0,86 |
| 83 | 17/12/2009 | 8:15 | 253916 | 0,85 |
| 84 | 17/12/2009 | 8:30 | 292254 | 0,82 |
| 85 | 17/12/2009 | 8:45 | 334652 | 0,84 |
| 86 | 17/12/2009 | 9:00 | 238482 | 0,90 |
| 87 | 17/12/2009 | 9:15 | 70225 | 0,56 |
| 88 | 17/12/2009 | 9:30 | 177803 | 0,97 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 112 | 17/12/2009 | 15:30 | 166957 | 0,88 |
| 113 | 17/12/2009 | 15:45 | 285873 | 0,83 |
| 114 | 17/12/2009 | 16:00 | 270721 | 0,86 |
| 115 | 17/12/2009 | 16:15 | 370266 | 0,80 |
| 116 | 17/12/2009 | 16:30 | 400342 | 0,83 |
| 117 | 17/12/2009 | 16:45 | 426990 | 0,85 |
| 118 | 17/12/2009 | 17:00 | 280863 | 0,83 |
| 119 | 17/12/2009 | 17:15 | 15539 | 0,08 |
| 120 | 17/12/2009 | 17:30 | 12059 | 0,06 |
| 121 | 17/12/2009 | 17:45 | 6891 | 0,04 |
| 122 | 17/12/2009 | 18:00 | 5484 | 0,03 |
| 123 | 17/12/2009 | 18:15 | 6838 | 0,04 |
| 124 | 17/12/2009 | 18:30 | 7471 | 0,04 |
| 125 | 17/12/2009 | 18:45 | 7049 | 0,04 |
| 126 | 17/12/2009 | 19:00 | 6996 | 0,04 |
| máximo | | | 426990 | 0,98 |
| mínimo | | | 5432 | 0,03 |

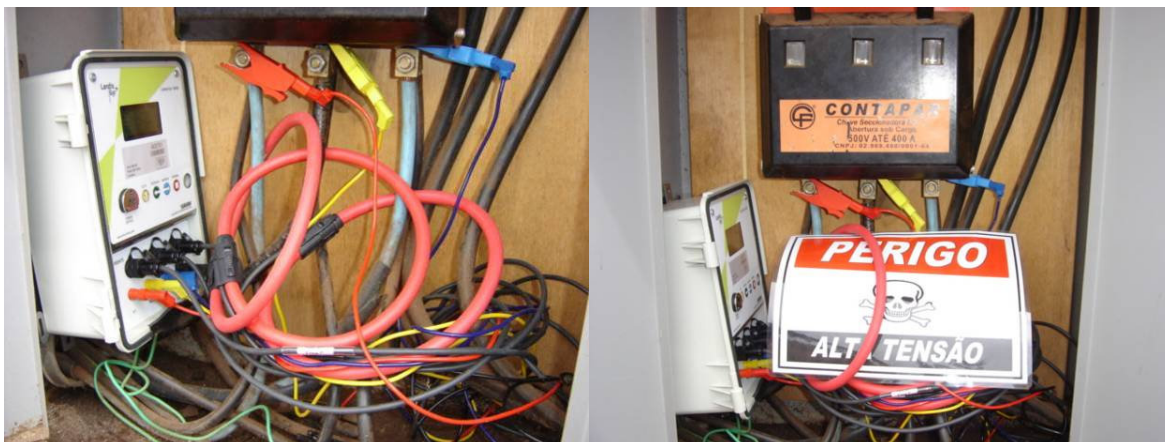


Figura 42. Analisador Portátil Saga 4500 ligado em rede trifásica junto à entrada de energia na Serraria B.

Os dados elétricos foram obtidos de acordo com a resolução ANEEL Nº 456/2000, onde os intervalos de medição devem ser de 15 em 15 minutos. Estes dados mostram o perfil da potência ativa trifásica de energia elétrica total da instalação, através da potência ativa trifásica e do fator de potência, ao longo do dia, como pode ser verificado na Figura 43.

No perfil de consumo aferido por este intervalo não se percebem variações significativas no comportamento da potência ativa, que efetivamente realiza trabalho e no perfil do fator de potência, a não ser nos períodos anteriores às 7 horas e posteriores às 17 horas, além da hora do almoço, quando a indústria está parada.

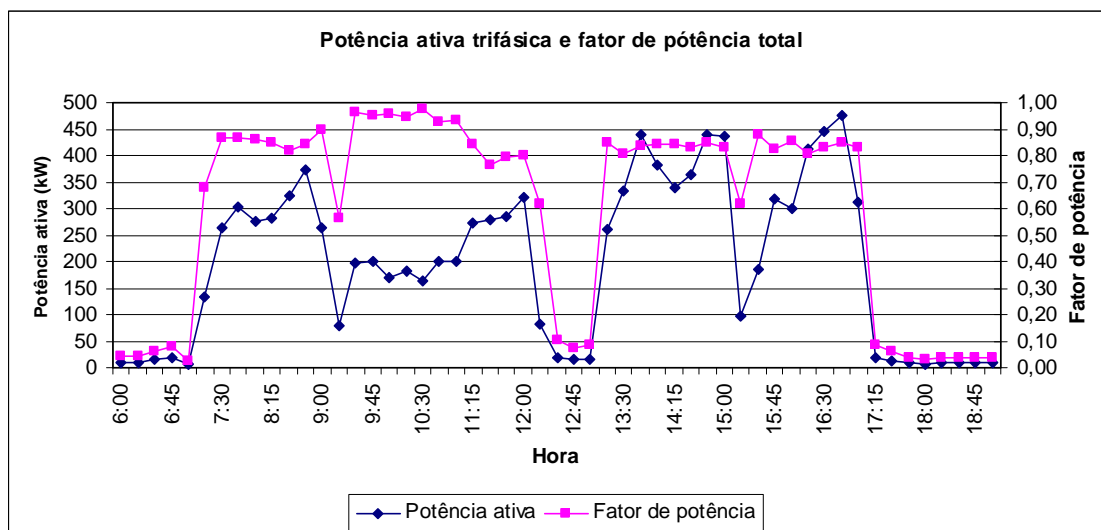


Figura 43. Potência ativa trifásica e fator de potência médio ao longo do dia na Serraria B

Pode-se verificar através da Figura 43, que o comportamento da potência ativa trifásica e do fator de potência depende um do outro, ou seja, quando há elevação da potência ativa, aumenta também o fator de potência.

Após as observações dos processos de produção e verificando que os equipamentos operam com carga por poucos segundos – quando da passagem da tora – e permanecem em vazio nos intervalos, foram feitas leituras de dados utilizando períodos com intervalos de 2 em 2 segundos. Este intervalo melhor evidência o comportamento do processo no que diz respeito ao uso de energia elétrica.

5.2.2. Caracterização na Serraria C

Na Serraria C foram coletados os dados elétricos na entrada do fornecimento de energia, na serra de fita vertical e no picador.

O analisador de redes de energia SAGA 4000 foi conectado na entrada do fornecimento de energia conforme mostra a Figura 44 e foram coletados dados do consumo total de energia elétrica que são listados na Tabela 23.



Figura 44. Vistas do Analisador Portátil Saga 4000 e o Alicates Wattímetro Digital MINIPA ET-4090 ambos ligados junto à entrada de energia da Serraria C.

Tabela 23. Dados elétricos da potência ativa trifásica total de energia elétrica na Serraria C.

| SAGA4500 - ESB Electronic Services | | | | |
|---|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| | | | Canal 16 | Canal 24 |
| Registro | Data | Hora | Pt(W) | FPt |
| 306 | 05/08/2010 | 08:40:10 | 41756 | 0,60 |
| 307 | 05/08/2010 | 08:40:12 | 71128 | 0,49 |
| 308 | 05/08/2010 | 08:40:14 | 92775 | 0,54 |
| 309 | 05/08/2010 | 08:40:16 | 87033 | 0,54 |
| 310 | 05/08/2010 | 08:40:18 | 72595 | 0,48 |
| 311 | 05/08/2010 | 08:40:20 | 71208 | 0,48 |
| 312 | 05/08/2010 | 08:40:22 | 77677 | 0,51 |
| 313 | 05/08/2010 | 08:40:24 | 115411 | 0,53 |
| 314 | 05/08/2010 | 08:40:26 | 177558 | 0,60 |
| 315 | 05/08/2010 | 08:40:28 | 147900 | 0,66 |
| 316 | 05/08/2010 | 08:40:30 | 102202 | 0,56 |
| 317 | 05/08/2010 | 08:40:32 | 101798 | 0,64 |
| 318 | 05/08/2010 | 08:40:34 | 85444 | 0,80 |
| 319 | 05/08/2010 | 08:40:36 | 85200 | 0,75 |
| 320 | 05/08/2010 | 08:40:38 | 113864 | 0,73 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 4885 | 05/08/2010 | 11:12:48 | 128278 | 0,86 |
| 4886 | 05/08/2010 | 11:12:50 | 124266 | 0,88 |
| 4887 | 05/08/2010 | 11:12:52 | 97261 | 0,83 |
| 4888 | 05/08/2010 | 11:12:54 | 77714 | 0,76 |
| 4889 | 05/08/2010 | 11:12:56 | 117548 | 0,88 |
| 4890 | 05/08/2010 | 11:12:58 | 128883 | 0,89 |
| 4891 | 05/08/2010 | 11:13:00 | 128109 | 0,90 |
| 4892 | 05/08/2010 | 11:13:02 | 95831 | 0,87 |
| 4893 | 05/08/2010 | 11:13:04 | 71391 | 0,81 |
| 4894 | 05/08/2010 | 11:13:06 | 76711 | 0,88 |
| 4895 | 05/08/2010 | 11:13:08 | 84342 | 0,90 |
| 4896 | 05/08/2010 | 11:13:10 | 93652 | 0,92 |
| 4897 | 05/08/2010 | 11:13:12 | 95911 | 0,92 |
| 4898 | 05/08/2010 | 11:13:14 | 81309 | 0,91 |
| 4899 | 05/08/2010 | 11:13:16 | 72145 | 0,89 |
| máximo | | | 204394 | 1,00 |
| mínimo | | | 0 | 0,48 |
| média | | | 87211 | 0,78 |

A Figura 45 mostra a serra de fita vertical e o quadro geral de distribuição. O analisador de redes de energia conectado junto a entrada de energia da serra de fita vertical e as amostras dos dados obtidos estão listados na Tabela 24.

Tabela 24. Dados da potência ativa trifásica de energia elétrica na serra de fita vertical na Serraria C.

| SAGA4500 - ESB Electronic Services | | | | |
|---|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| | | | Canal 16 | Canal 24 |
| Registro | Data | Hora | Pt(W) | FPt |
| 733 | 05/08/2010 | 08:15:00 | 20141 | 0,24 |
| 734 | 05/08/2010 | 08:15:02 | 42852 | 0,45 |
| 735 | 05/08/2010 | 08:15:04 | 42491 | 0,45 |
| 736 | 05/08/2010 | 08:15:06 | 41236 | 0,45 |
| 737 | 05/08/2010 | 08:15:08 | 39766 | 0,47 |
| 738 | 05/08/2010 | 08:15:10 | 37567 | 0,31 |
| 739 | 05/08/2010 | 08:15:12 | 53080 | 0,65 |
| 740 | 05/08/2010 | 08:15:14 | 20986 | 0,84 |
| 741 | 05/08/2010 | 08:15:16 | 9878 | 0,55 |
| 742 | 05/08/2010 | 08:15:18 | 13317 | 0,66 |
| 743 | 05/08/2010 | 08:15:20 | 13926 | 0,67 |
| 744 | 05/08/2010 | 08:15:22 | 12223 | 0,58 |
| 745 | 05/08/2010 | 08:15:24 | 11852 | 0,70 |
| 746 | 05/08/2010 | 08:15:26 | 10188 | 0,63 |
| 747 | 05/08/2010 | 08:15:28 | 10286 | 0,63 |
| | ... | ... | ... | ... |
| 5322 | 05/08/2010 | 10:47:58 | 29074 | 0,88 |
| 5323 | 05/08/2010 | 10:48:00 | 27447 | 0,87 |
| 5324 | 05/08/2010 | 10:48:02 | 28359 | 0,85 |
| 5325 | 05/08/2010 | 10:48:04 | 26491 | 0,86 |
| 5326 | 05/08/2010 | 10:48:06 | 26477 | 0,88 |
| 5327 | 05/08/2010 | 10:48:08 | 8994 | 0,59 |
| 5328 | 05/08/2010 | 10:48:10 | 8620 | 0,57 |
| 5329 | 05/08/2010 | 10:48:12 | 8773 | 0,58 |
| 5330 | 05/08/2010 | 10:48:14 | 8466 | 0,57 |
| 5331 | 05/08/2010 | 10:48:16 | 8510 | 0,51 |
| 5332 | 05/08/2010 | 10:48:18 | 8763 | 0,56 |
| 5333 | 05/08/2010 | 10:48:20 | 8438 | 0,57 |
| 5334 | 05/08/2010 | 10:48:22 | 8097 | 0,57 |
| 5335 | 05/08/2010 | 10:48:24 | 7640 | 0,59 |
| 5336 | 05/08/2010 | 10:48:26 | 5511 | 0,69 |
| máximo | | | 58289 | 0,94 |
| mínimo | | | 5511 | 0,24 |
| média | | | 18796 | 0,69 |



Figura 45. Serra de fita vertical e quadro de distribuição na Serraria C.

Na Tabela 25 são listadas amostras dos dados obtidos através do uso do analisador de grandezas elétricas SAGA 4500, ligado junto ao picador.

A potência ativa trifásica, aferida com intervalos de 2 em 2 segundos na Serraria C pode ser verificado na Figura 46. Na mesma figura e com os mesmos intervalos e período da potência ativa, tem-se o fator de potência total.

Pode-se constatar a alta frequência de ocorrências de variação de potência, fato esse ocasionado principalmente pela passagem das toras pelas serras, gerando carga nos motores dos equipamentos.

Deve-se ressaltar que esta característica é comum a todas as serrarias. Nota-se também a presença de muitos picos de consumo, que representam o início da passagem da tora pelos equipamentos.

A variação do fator de potência ocorre também pelo fato de haverem diversos momentos com e sem carga. Quando existe o trabalho efetivo de corte da madeira, o valor do fator de potência se eleva. Por outro lado, nos momentos em que o equipamento opera em vazio ou sem carga, o valor do fator de potência cai.

Tabela 25. Dados da potência ativa trifásica de energia elétrica no picador na Serraria C.

| SAGA4500 - ESB Electronic Services | | | | |
|---|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| | | | Canal 16 | Canal 24 |
| Registro | Data | Hora | Pt(W) | FPt |
| 687 | 05/08/2010 | 08:15:00 | 38579 | 0,45 |
| 688 | 05/08/2010 | 08:15:02 | 26903 | 0,41 |
| 689 | 05/08/2010 | 08:15:04 | 5095 | 0,24 |
| 690 | 05/08/2010 | 08:15:06 | 5087 | 0,42 |
| 691 | 05/08/2010 | 08:15:08 | 5094 | 0,32 |
| 692 | 05/08/2010 | 08:15:10 | 5057 | 0,22 |
| 693 | 05/08/2010 | 08:15:12 | 4882 | 0,47 |
| 694 | 05/08/2010 | 08:15:14 | 5845 | 0,56 |
| 695 | 05/08/2010 | 08:15:16 | 5843 | 0,60 |
| 696 | 05/08/2010 | 08:15:18 | 4637 | 0,50 |
| 697 | 05/08/2010 | 08:15:20 | 4614 | 0,48 |
| 698 | 05/08/2010 | 08:15:22 | 4578 | 0,48 |
| 699 | 05/08/2010 | 08:15:24 | 4573 | 0,42 |
| 700 | 05/08/2010 | 08:15:26 | 4539 | 0,47 |
| 701 | 05/08/2010 | 08:15:28 | 4522 | 0,48 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 3761 | 05/08/2010 | 12:09:24 | 3229 | 0,39 |
| 3762 | 05/08/2010 | 12:09:26 | 3259 | 0,39 |
| 3763 | 05/08/2010 | 12:09:28 | 3236 | 0,39 |
| 3764 | 05/08/2010 | 12:09:30 | 3269 | 0,39 |
| 3765 | 05/08/2010 | 12:09:32 | 3255 | 0,38 |
| 3766 | 05/08/2010 | 12:09:34 | 3269 | 0,39 |
| 3767 | 05/08/2010 | 12:09:36 | 3292 | 0,40 |
| 3768 | 05/08/2010 | 12:09:38 | 3304 | 0,41 |
| 3769 | 05/08/2010 | 12:09:40 | 3303 | 0,41 |
| 3770 | 05/08/2010 | 12:09:42 | 3607 | 0,44 |
| 3771 | 05/08/2010 | 12:09:44 | 3821 | 0,47 |
| 3772 | 05/08/2010 | 12:09:46 | 3262 | 0,40 |
| 3773 | 05/08/2010 | 12:09:48 | 3229 | 0,39 |
| 3774 | 05/08/2010 | 12:09:50 | 3235 | 0,39 |
| 3775 | 05/08/2010 | 12:09:52 | 3254 | 0,39 |
| <i>máximo</i> | | | 68169 | 0,96 |
| <i>mínimo</i> | | | 3015 | 0,22 |
| <i>média</i> | | | 9664 | 0,62 |

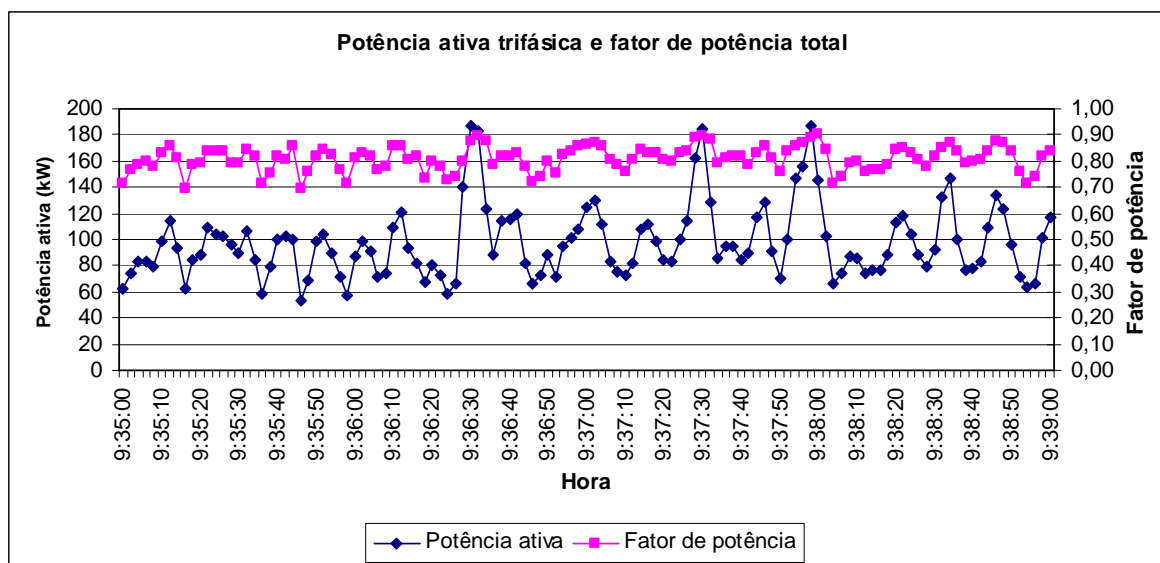


Figura 46. Potência ativa trifásica e fator de potência total, com vista ampliada.

Através da Figuras 46, pode-se constatar também que a média do fator de potência no período analisado está abaixo de 0,92. Nas serrarias, conforme já caracterizado, os equipamentos principais ou de maior potência são responsáveis, então, por essa característica de alta incidência de picos de consumo na rede.

Os outros equipamentos como a serra de fita horizontal e serra multilâminas, tem o mesmo comportamento em relação ao consumo de energia no que diz respeito a operação com e sem carga.

O comportamento da potência ativa e do fator de potência da serra de fita vertical, que geralmente é o primeiro equipamento nos lay-out's de processamento de madeira, pode ser visualizado na Figura 47.

O parâmetro superior indica o momento da passagem da tora pela serra e o parâmetro inferior indica o momento em que o equipamento está operando em vazio, ocasionando um baixo fator de potência.

Embora não sejam considerados como produtos principais, os resíduos do processo têm sua importância econômica e são tratados no processo pelo equipamento denominado picador. A potência ativa trifásica de energia elétrica deste equipamento e seu fator de potência podem ser visualizados na Figura 48.

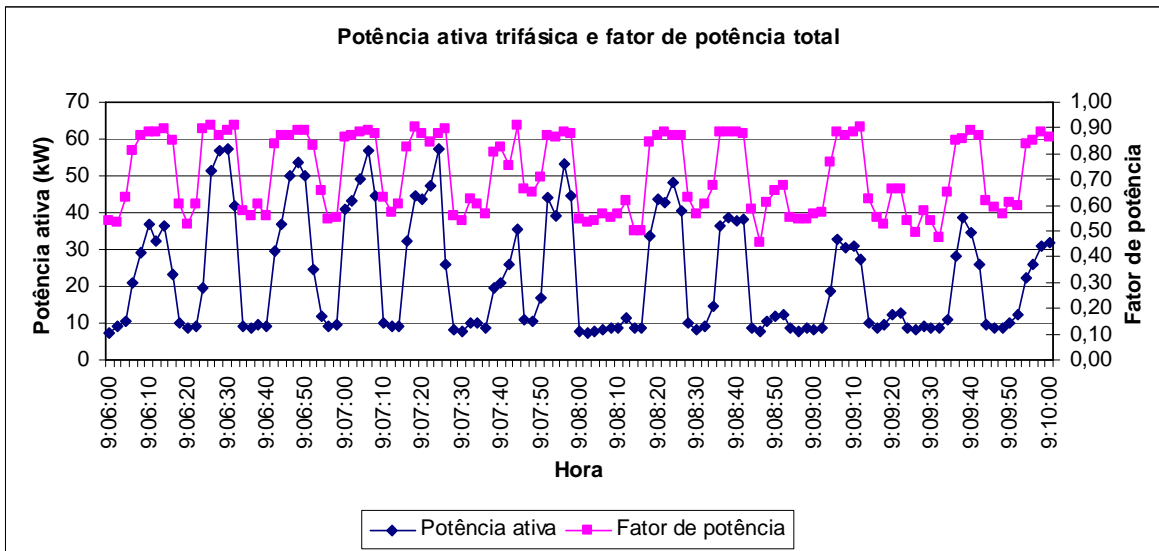


Figura 47. Potência ativa trifásica e fator de potência na serra de fita vertical, com vista ampliada.

Pode-se constatar praticamente o mesmo comportamento da potência ativa trifásica consumida e do fator de potência, quando comparados a serra de fita vertical, ou seja, variações bruscas devido às operações com e sem carga.

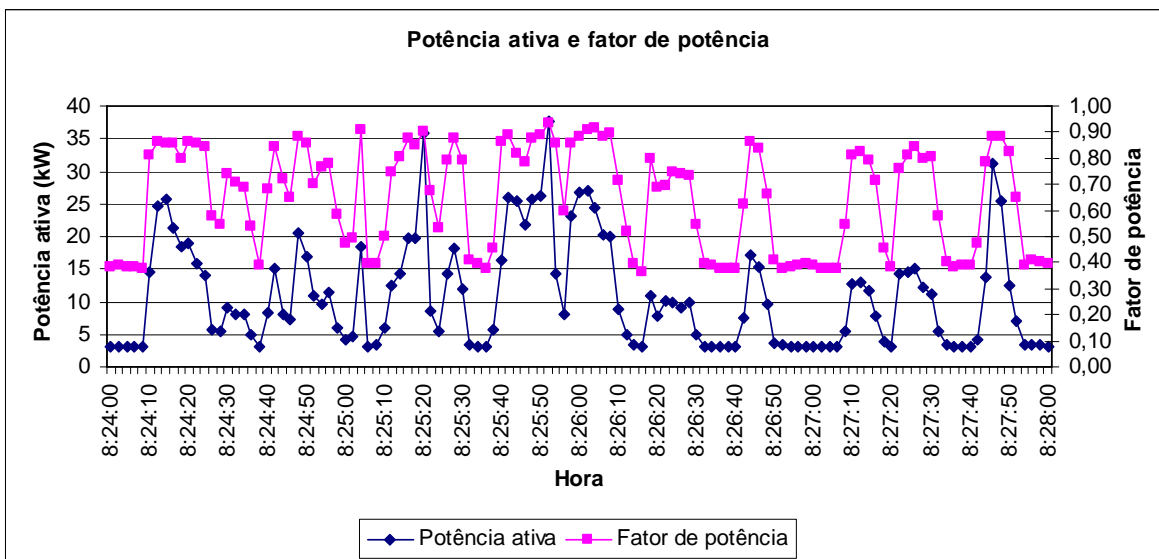


Figura 48. Potência ativa trifásica e fator de potência no picador, com vista ampliada.

5.3. Indicadores de Eficiência Energética na Indústria Madeireira

A determinação e caracterização de consumos específicos e dos fatores de potência, de carga e de demanda permitem avaliar o uso de energia elétrica de cada serraria em relação ao processamento industrial de madeira serrada. Estes valores são característicos de cada atividade industrial e são utilizados quando da construção do sistema de apoio a decisão descrito neste trabalho.

5.3.1. Consumo específico

O consumo específico mensal de cada serraria, calculado através da relação entre o valor do consumo de energia ativa e do volume de produção de madeira serrada das serrarias pesquisadas, pode ser visualizado na Figura 49:

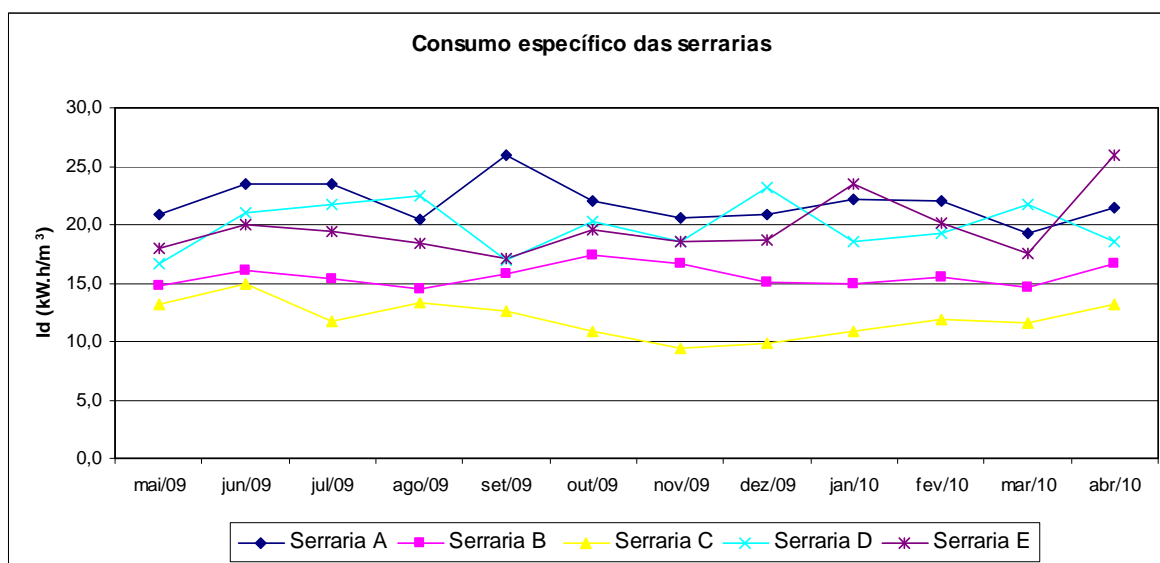


Figura 49. Consumo específico mensais das serrarias.

Observa-se que, em média, a empresa que tem o menor consumo de energia no período analisado é a Serraria C, seguida da Serraria B.

Os consumos específicos médios mensais estão listados na Tabela 26.

Tabela 26. Consumos específicos médios mensais.

| | <i>Consumo de energia [kW.h]</i> | <i>Volume de produção de madeira serrada [m³]</i> | <i>Consumo específico [kWh/m³]</i> |
|-------------------|----------------------------------|--|---|
| Serraria A | 6079 | 274 | 21,9 |
| Serraria B | 18822 | 1232 | 15,6 |
| Serraria C | 8029 | 711 | 12,0 |
| Serraria D | 8119 | 402 | 20,2 |
| Serraria E | 19190 | 982 | 19,7 |

O Laboratório não teve seu consumo específico calculado por se tratar de um laboratório didático. O mesmo ocorre para os demais fatores em relação a esta serraria. Os valores mensais de todas as serrarias, que originam as médias são listados no apêndice.

Podem-se comparar os consumos específicos médios mensais através da Figura 50:

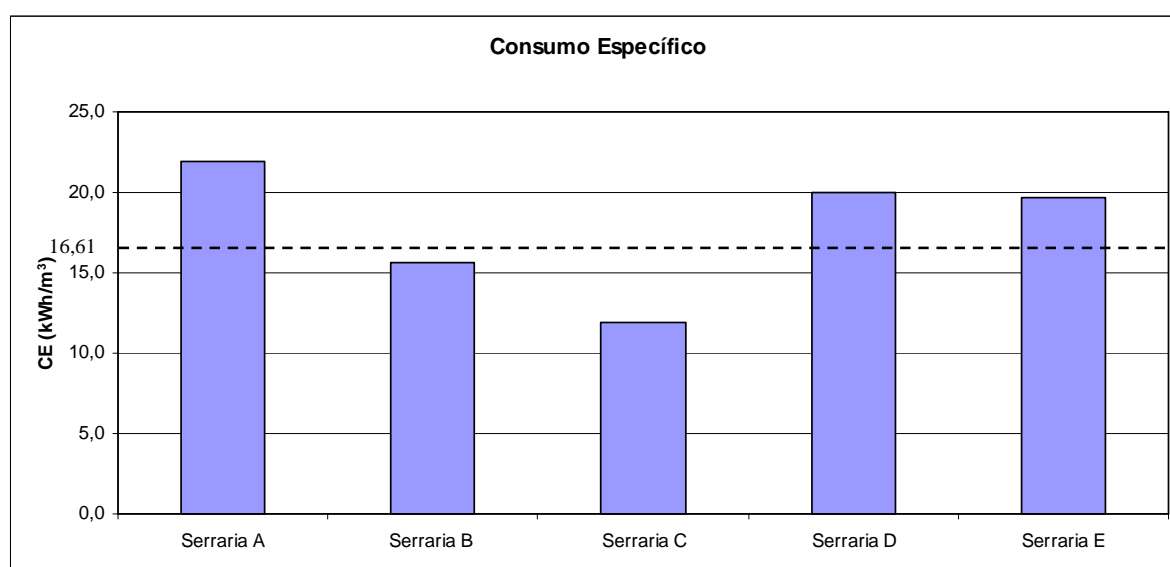


Figura 50. Consumos específicos médios mensais das serrarias.

Os valores estabelecidos deste índice e dos demais fatores podem ser utilizados como parâmetro para serrarias do mesmo porte que utilizam pinus como matéria prima e que tenham produtos similares.

Os consumos específicos verificados variam em torno do valor de 16,61 kWh/m³ descrito na revisão de literatura. Neste caso específico a meta para as empresas é atingir o valor de energia consumida por metro cúbico de madeira processada da serraria “C”, que apresenta o menor consumo de energia por metro cúbico de madeira serrada.

5.3.2. Fator de Potência

O comportamento do fator de potência mensal de cada serraria pode ser visualizado na Figura 51:

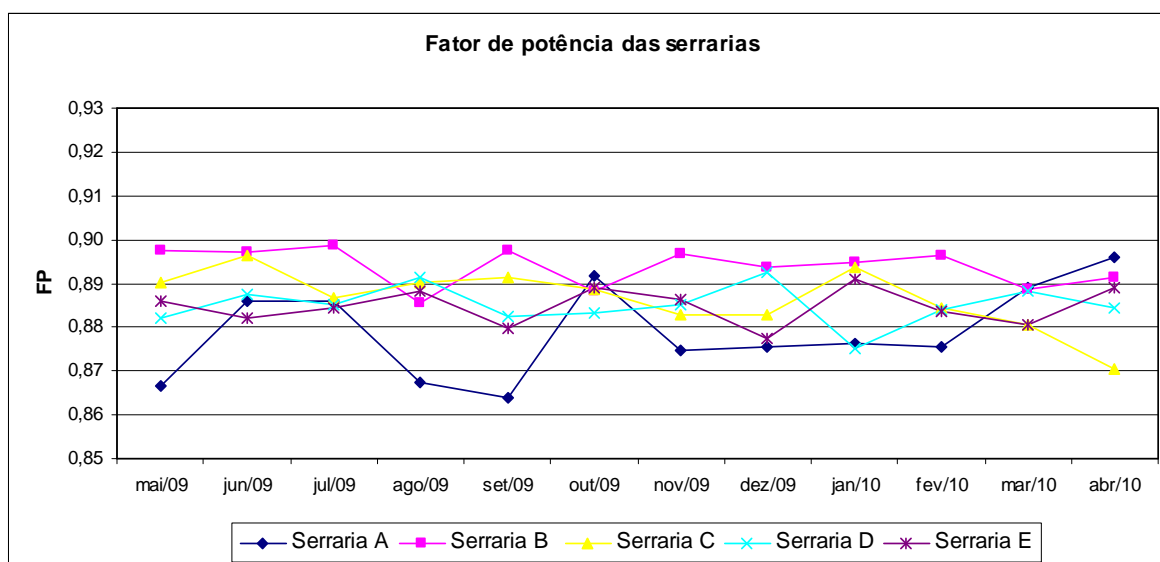


Figura 51. Fator de potência mensal das serrarias.

Os fatores de potência médios mensais das serrarias pesquisadas estão listados na Tabela 27:

Tabela 27. Fator de potência médio mensal.

| | <i>Consumo de energia ativa média mensal [kWh]</i> | <i>Consumo de energia reativa média mensal [kVArh]</i> | <i>Fator de potência</i> |
|-------------------|--|--|--------------------------|
| Serraria A | 6079 | 2541 | 0,88 |
| Serraria B | 18822 | 8178 | 0,89 |
| Serraria C | 8029 | 3420 | 0,88 |
| Serraria D | 8119 | 3459 | 0,89 |
| Serraria E | 19190 | 8175 | 0,88 |

Podem-se comparar os fatores verificados através da Figura 52.

Tanto no sistema tarifário Convencional, como no Horó-Sazonal, é cobrada uma taxa quando o fator de potência da unidade consumidora no período de faturamento resulta inferior a 0,92 .

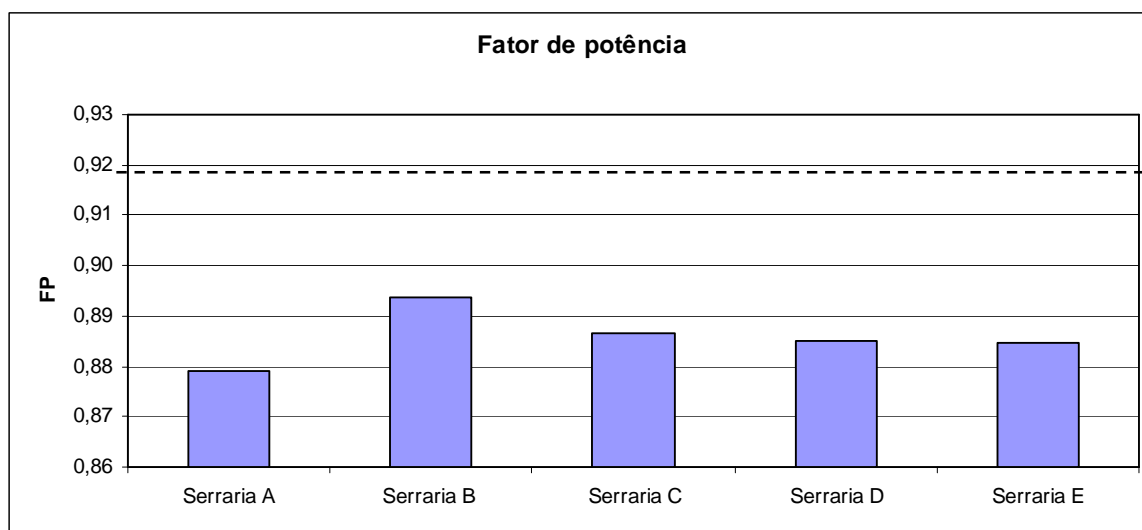


Figura 52. Fator de potência médio mensal das serrarias.

Dois indicativos de gastos provocados pelo baixo fator de potência são o Faturamento de Demanda Reativa (FDR) ou o Faturamento de Energia Reativa (FER), que podem ocorrer simultaneamente ou não e podem ser visualizados diretamente na fatura de energia elétrica da serraria.

Nas serrarias visitadas nota-se que não há um estudo ou projeto em relação ao dimensionamento de motores e observa-se que muitas vezes eles são superdimensionados, o que pode significar também baixos valores de fator de potência.

Todos os consumidores industriais devem manter o fator de potência de suas instalações o mais próximo possível da unidade, caso contrário ficam sujeitas às condições estabelecidas pela legislação em vigor. Uma solução para a melhoria do fator de potência seria a instalação de banco de capacitores, preferencialmente do tipo automático e instalado após a medição.

Outra prática a ser considerada é a diminuição do intervalo entre a passagem das toras ou tábuas pelos equipamentos do processo, fazendo estes operar o maior tempo possível com carga.

5.3.3. Fator de Carga

As variações do fator de carga fora de ponta mensal de cada serraria pode ser visualizado na Figura 53:

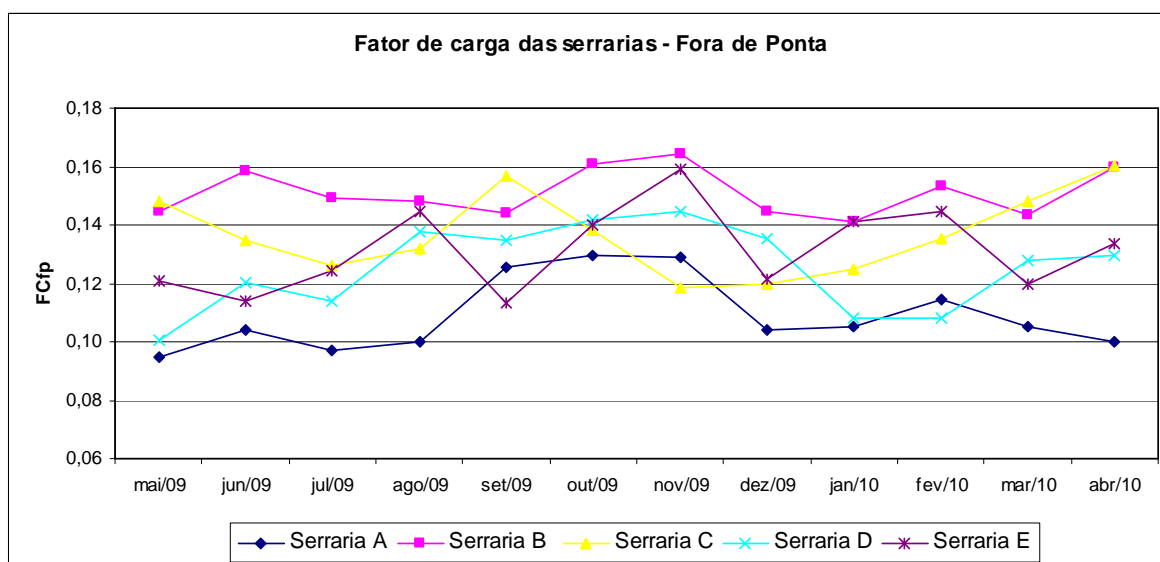


Figura 53. Fator de carga fora de ponta mensal nas serrarias.

Os fatores de carga médios mensais das serrarias pesquisadas estão listados na Tabela 28:

Tabela 28. Fator de carga médio mensal.

| | <i>Consumo ponta [kWh]</i> | <i>Consumo fora de ponta [kWh]</i> | <i>Demanda na ponta [kW]</i> | <i>Demanda fora de ponta [kW]</i> | <i>Fator de carga na ponta</i> | <i>Fator de carga fora de ponta</i> |
|-------------------|------------------------------------|--|--------------------------------------|---|--|---|
| Serraria A | 280 | 5684 | 9 | 79 | 0,49 | 0,11 |
| Serraria B | 375 | 18447 | 14 | 184 | 0,43 | 0,15 |
| Serraria C | 223 | 7806 | 10 | 85 | 0,32 | 0,13 |
| Serraria D | 268 | 7852 | 10 | 94 | 0,41 | 0,13 |
| Serraria E | 102 | 19088 | 10 | 219 | 0,16 | 0,13 |

O fator de carga indica a distribuição do uso da energia em relação à demanda, assim, quanto maior o valor, melhor. No caso específico das serrarias, as tabelas de referência das concessionárias apresentam um valor muito baixo, em torno de 0,13, como descrito na revisão de literatura.

Podem-se comparar os valores verificados de fator de carga na ponta e fora de ponta nas serrarias através das Figuras 54 e 55:

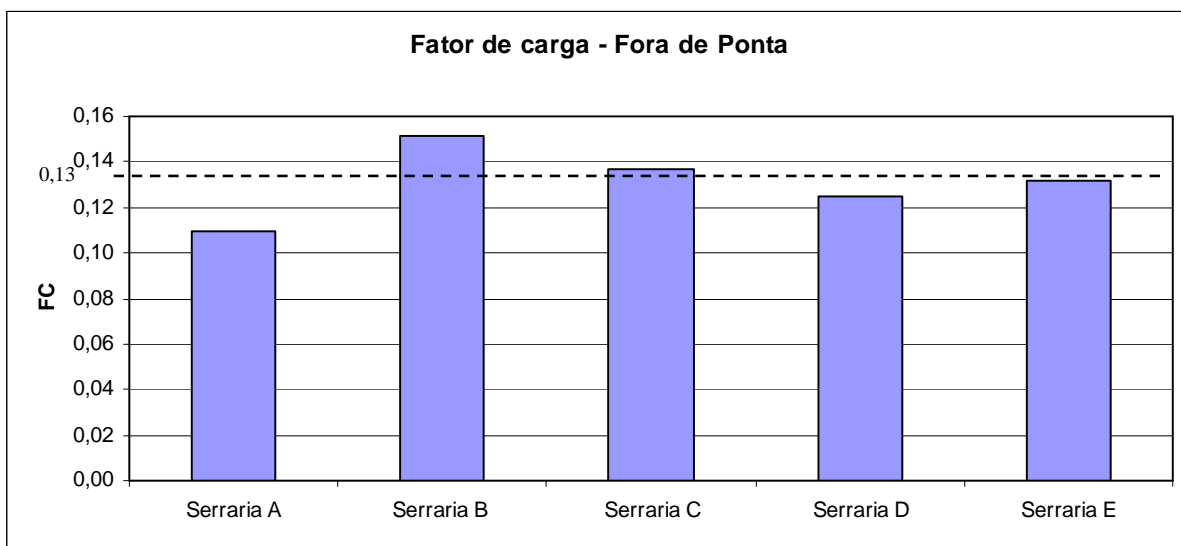


Figura 54. Fator de carga fora de ponta médio mensal nas serrarias.

Há que se considerar que não é interessante trabalhar no horário de ponta por causa do alto valor da tarifa neste horário. Então o foco neste caso é melhorar o fator de carga fora de ponta.

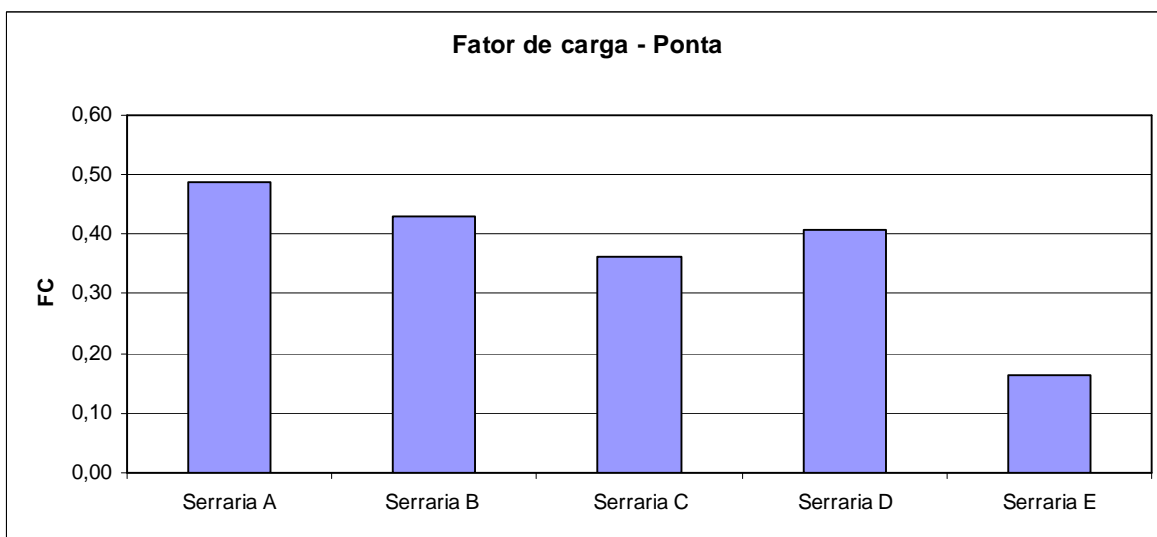


Figura 55. Fator de carga de ponta nas serrarias.

Nas serrarias observa-se que não há um planejamento no que se refere a operação dos equipamentos. Ligam-se todos ao mesmo tempo, sem nenhuma estratégia de processamento e isso afeta diretamente a utilização da energia elétrica.

Equipamentos de grande potência, operando a plena carga somente algumas horas do período de utilização ou cargas de grande porte são ligadas simultaneamente. Isso ocasiona valores baixos de fator de carga, com a concentração de cargas em determinados períodos, com elevadas demandas.

A melhoria do fator de carga pode diminuir as despesas com a energia consumida pelas serrarias, e propiciar melhor aproveitamento e aumento da vida útil de toda a instalação elétrica, de motores e equipamentos.

Quanto maior for o fator de carga, menor será o preço médio da energia elétrica e a principal medida para se elevar seu valor estão a seleção e reprogramação dos equipamentos e sistemas que possam operar fora do horário de maior demanda da instalação, através de cronogramas de utilização de seus equipamentos elétricos, com a capacidade e o regime de trabalho de cada um e seus horários de funcionamento.

5.3.4. Fator de Demanda

O comportamento do fator de demanda mensal de cada serraria pode ser visualizado na Figura 56. Os fatores de demanda médios mensais nas serrarias pesquisadas estão listados na Tabela 29.

O fator de demanda adotado como referência para serrarias pelas concessionárias de energia tem o valor aproximado de 0,46 , conforme descrito na revisão de literatura. A comparação dos valores de fator de demanda nas serrarias pode ser visualizada na Figura 57

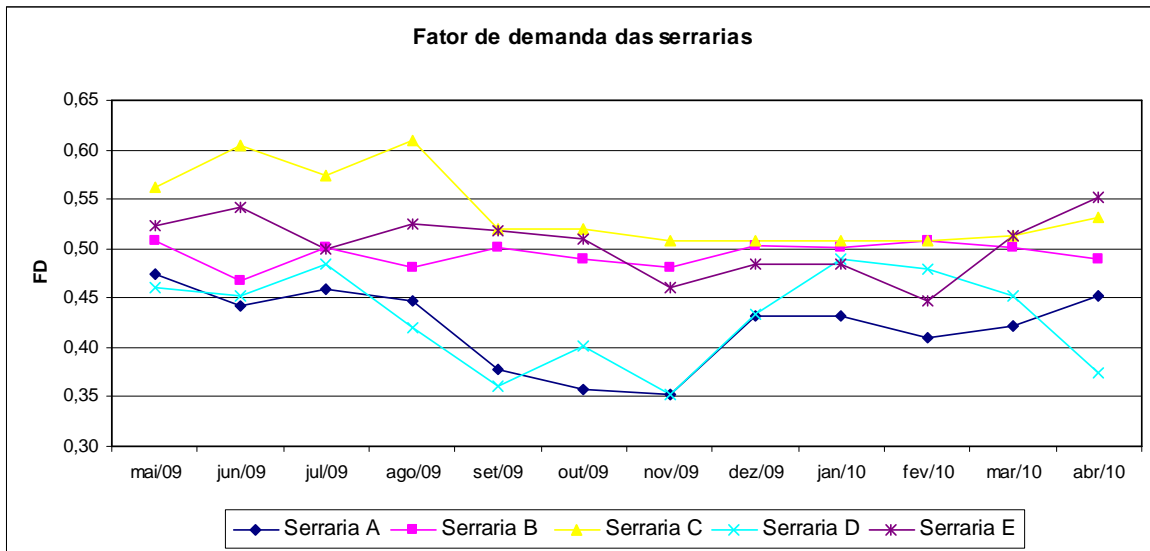


Figura 56. Fator de demanda mensal nas serrarias.

Tabela 29. Fator de demanda médio mensal

| | <i>Demanda fora de ponta [kW]</i> | <i>Potência instalada [kW]</i> | <i>Fator de demanda</i> |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Serraria A | 79 | 160 | 0,49 |
| Serraria B | 184 | 330 | 0,56 |
| Serraria C | 89 | 176 | 0,51 |
| Serraria D | 94 | 221 | 0,43 |
| Serraria E | 219 | 396 | 0,55 |

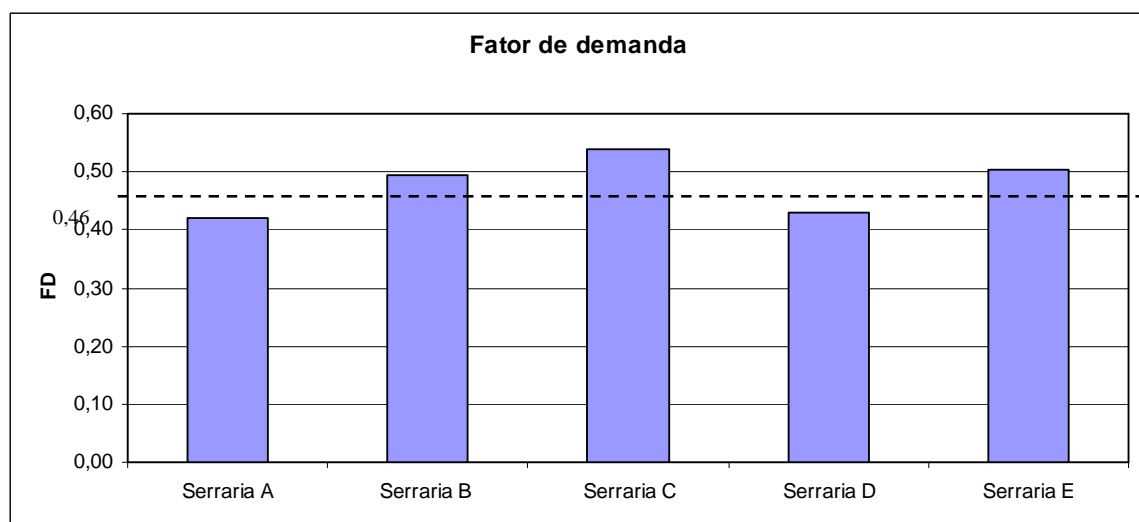


Figura 57. Fator de demanda médio mensal nas serrarias.

O fator de demanda se refere ao uso da demanda de energia em função da potência total dos equipamentos instalados na serraria, assim quanto maior o valor, melhor.

Embora este fator seja considerado por diversos autores como sendo de projeto, ele é importante para o diagnóstico da instalação elétrica e para possíveis readequações em termos de comando e proteção.

As medidas para melhorar o fator de demanda incluem o planejamento e projeto dos equipamentos instalados na área industrial para que se adequem aos valores ou metas de produção da serraria, evitando que existam equipamentos que operem com baixa carga em relação a sua capacidade nominal ou que sejam ociosos.

5.3.5. Síntese dos Indicadores das Serrarias

A Tabela 30 mostra uma comparação com todos os indicadores médios calculados durante a realização deste trabalho e a comparação com valores tidos como referências.

Tabela 30. Comparação dos rendimentos, índices e fatores médios das serrarias.

| | <i>Rendimento (%)</i> | <i>Consumo específico [kWh/m³]</i> | <i>Fator de Potência</i> | <i>Fator de Carga</i> | <i>Fator de demanda</i> |
|-------------------|-----------------------|---|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Referência | 40,0 | 16,6 | 0,92 | 0,13 | 0,46 |
| Serraria A | 32,7 | 21,9 | 0,88 | 0,11 | 0,49 |
| Serraria B | 40,1 | 15,6 | 0,89 | 0,15 | 0,56 |
| Serraria C | 39,3 | 12,0 | 0,88 | 0,13 | 0,51 |
| Serraria D | 34,8 | 20,2 | 0,89 | 0,13 | 0,43 |
| Serraria E | 33,6 | 19,7 | 0,88 | 0,13 | 0,55 |

Observa-se através dos indicadores que a Serraria B é a que apresenta o melhor conjunto de indicadores. A Serraria C por sua vez, possui o melhor consumo específico. A Serraria A é que possui o pior nível em relação aos indicadores calculados.

A melhoria dos rendimentos, consumos específicos e fatores, é possível desde que seja realizada uma remodelação ou *retrofitting* de toda a planta industrial, considerando desde *lay-out's* eficientes, até motores de alto-rendimento e adequados às exigências de potências solicitadas pelos equipamentos.

Além disso, é necessária também uma mudança de postura gerencial, com a contratação de mão-de-obra especializada e treinada, a fim de operar e realizar as manutenções de maneira eficiente em todos os equipamentos e máquinas.

Deve-se ainda planejar os tempos de processamento e o aproveitamento das toras, para que se diminuam os períodos ociosos dos equipamentos e se aumentem os rendimentos do processamento da madeira.

A eficiência energética é um tema que vem sendo muito explorado e os autores citam várias ações que podem ser tomadas em relação ao consumo de energia elétrica, porém qualquer alteração em processos produtivos torna-se difícil devido aos costumes e métodos praticados já há décadas no setor industrial madeireiro.

Situações como a falta de matéria-prima em épocas de chuvas são comuns, pois os fornecedores de toras não permitem a entrada de caminhões em campo para a extração das mesmas a fim de não prejudicar o terreno.

Ainda em relação às chuvas, observa-se que as empresas utilizam a madeira exposta ao tempo como método de secagem da madeira serrada. Algumas possuem estufas pequenas, insuficientes para dar vazão à produção.

Observa-se também que as serrarias trabalham na sua maioria em função da produção através de encomendas, impossibilitando assim um planejamento para produção com parte dos equipamentos ligados e utilizando-os nesse caso a plena carga, o que é perfeitamente possível neste setor de atividade industrial.

Os tempos de processamento individual de cada máquina e do conjunto, a escolha da posição da tora para melhor aproveitamento do corte, entre outros, são influenciados diretamente pelo operador. Um maior nível de automação ou até mesmo a melhor qualificação dos operadores, principalmente nestes dois aspectos, tornaria o processo mais eficiente no que tange à produção.

As situações expostas comprometem as condições de uso da energia elétrica, pois os equipamentos podem funcionar em vazio – afetando assim o fator de potência – ou mesmo com alta concentração de carga em curtos períodos de tempo, aumentando a demanda e comprometendo o fator de carga.

5.4. Sistemas Fuzzy Gerencial e Tecnológico

Na aplicação dos sistemas fuzzy, foram observadas as particularidades das empresas, no que diz respeito aos procedimentos gerenciais e também nos índices e fatores, pois o seu estabelecimento proporciona maior controle do uso de energia elétrica.

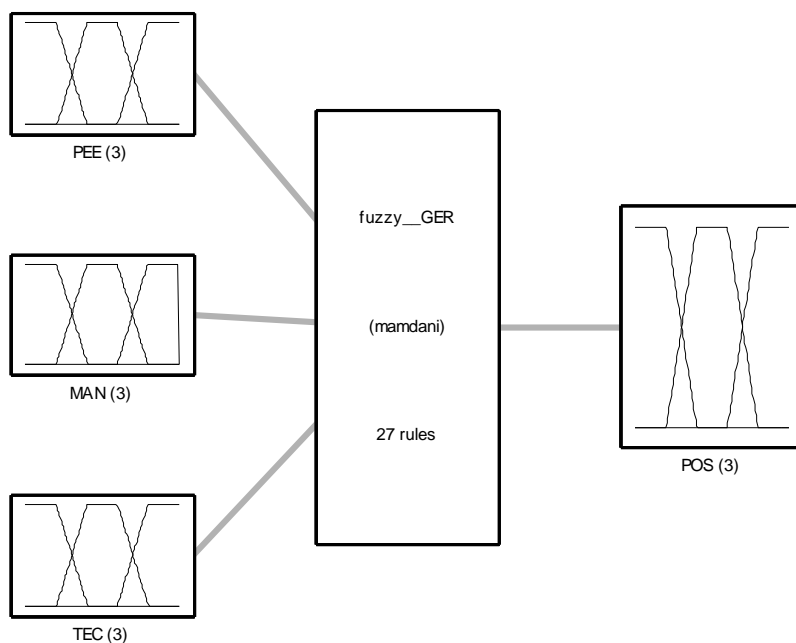
A utilização da teoria fuzzy permitiu identificar e implementar em um fuzzy a experiência do operador e sua forma de decidir sobre o problema em questão. Verificou-se a capacidade de operadores de processos de naturezas diversas realizarem com sucesso inferências sobre o mesmo de forma intuitiva, sem que seja necessário conhecer os valores numéricos das variáveis envolvidas.

Um operador considerado experiente acumula um maior número de observações anteriores que utiliza na formulação de previsões sobre o processo. O proposto deve possuir um comportamento o mais semelhante possível ao de um humano.

Dessa forma, a teoria fuzzy demonstrou ser útil na elaboração de um modelo de um sistema de controle de eficiência energética para a área industrial madeireira. O poder associado à utilização de teoria fuzzy é servir de ponte entre o conhecimento empírico e uma implementação computacional.

Desta forma, após as pesquisas, estudos e simulações, além de levar em consideração o estado da arte dos sistemas que utilizam teoria fuzzy para controle, tem-se o sistema de suporte gerencial como ilustrado da Figura 58.

Esta figura é gerada através do MATLAB. As saídas do sistema de inferência fuzzy são apresentadas de duas maneiras distintas, a primeira gerada pelas regras fuzzy utilizadas e a segunda em forma de uma superfície de associação entre as variáveis de entrada e saída.



System fuzzy__GER: 3 inputs, 1 outputs, 27 rules

Figura 58. Resumo do sistema de suporte fuzzy gerencial.

De acordo com a Figura 58, o sistema gerencial possui 3 entradas, 1 saída e 27 regras que determinam seu comportamento. O sistema tecnológico, apresentado na Figura 66 possui 4 entradas, 1 saída e 81 regras que determinam seu comportamento.

De maneira análoga é apresentado na Figura 59 o sistema de suporte fuzzy para a área tecnológica.

A Figura 60 mostra a tela de configuração, edição e inserção de dados do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB para o sistema gerencial ilustrado na Figura 58.

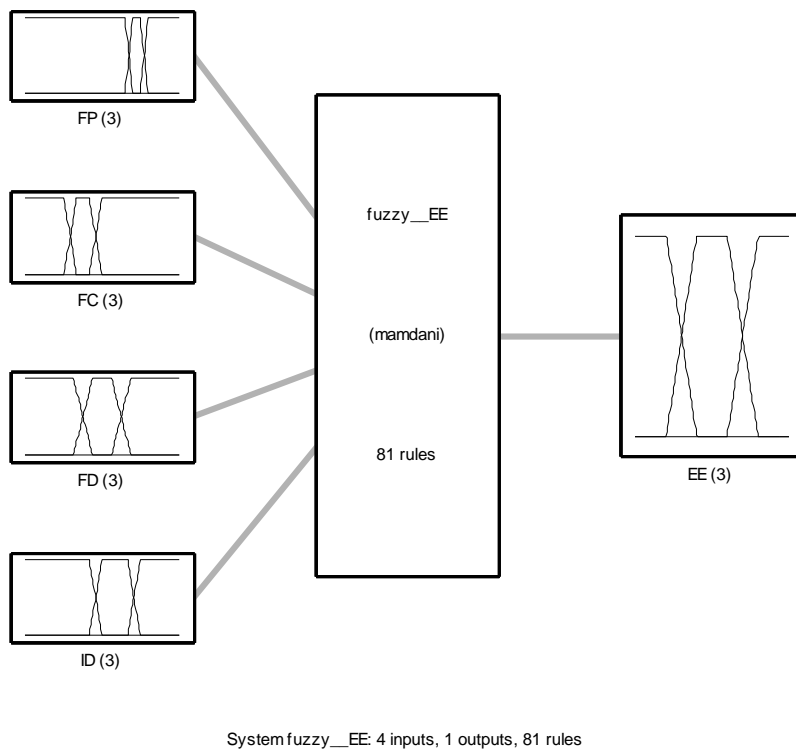


Figura 59. Resumo do sistema de suporte fuzzy tecnológico.

Da mesma forma, a Figura 61 mostra a tela de configuração, edição e inserção de dados do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB para o sistema tecnológico ilustrado na Figura 59.

Nas Figuras 62 e 63, tem-se o exemplo da tela onde se definiu o domínio e a escolha do formato e número de funções de pertinência das variáveis de entrada e/ou saída para o sistema gerencial.

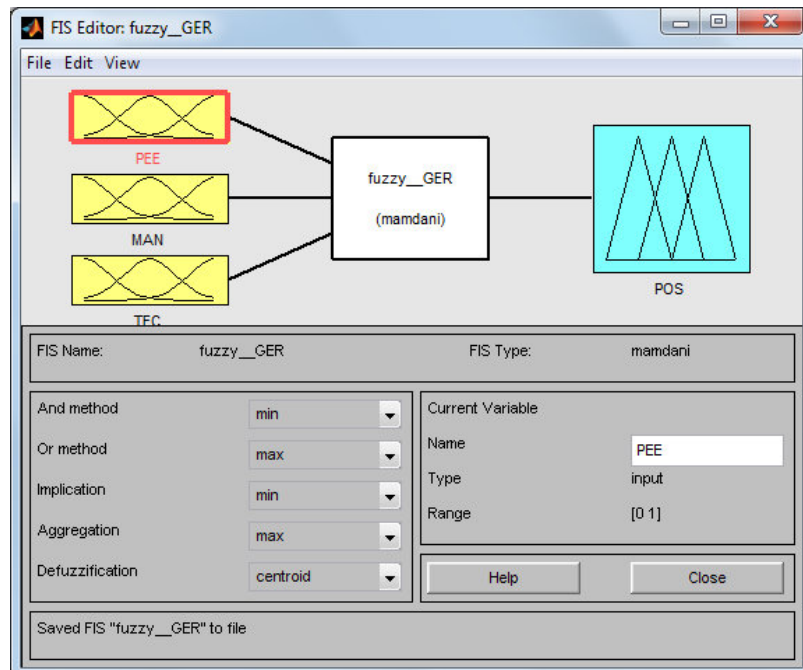


Figura 60. Tela inicial e de configuração básica do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB para o sistema gerencial.

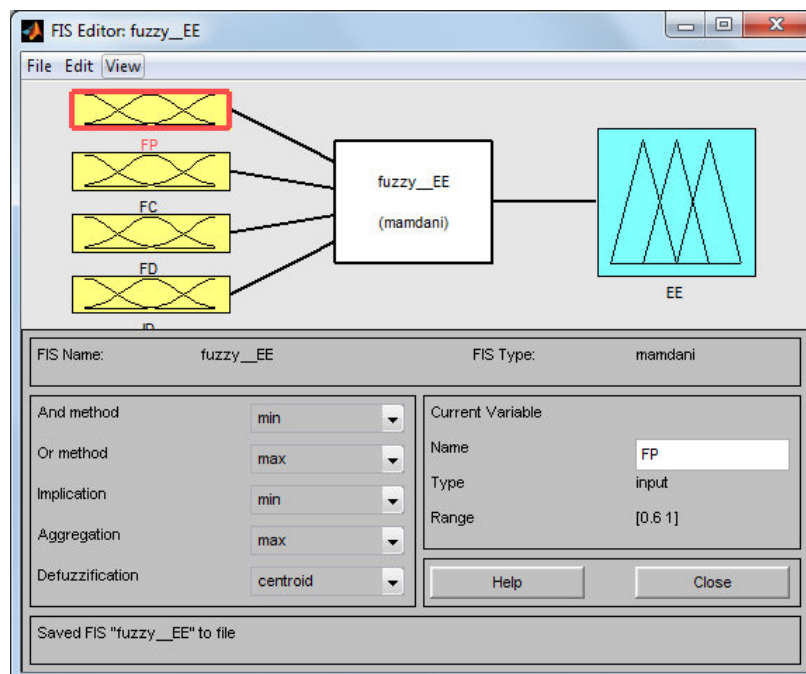


Figura 61. Tela inicial e de configuração básica do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB para o sistema tecnológico.

A base de conhecimento do Sistema de Suporte Fuzzy é composta por funções de pertinência, que compõem sua base dados, e por implicações verbais que compõem sua base de regras.

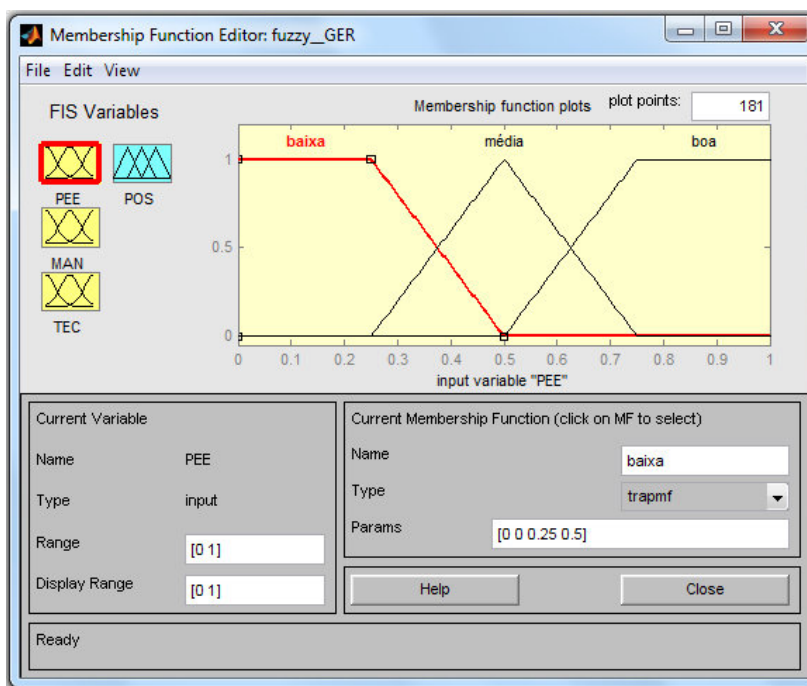


Figura 62. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de entrada para o sistema gerencial.

Nas Figuras 64 e 65, tem-se o exemplo da tela onde se definiu o domínio e a escolha do formato e número de funções de pertinência das variáveis de entrada e/ou saída para o tecnológico.

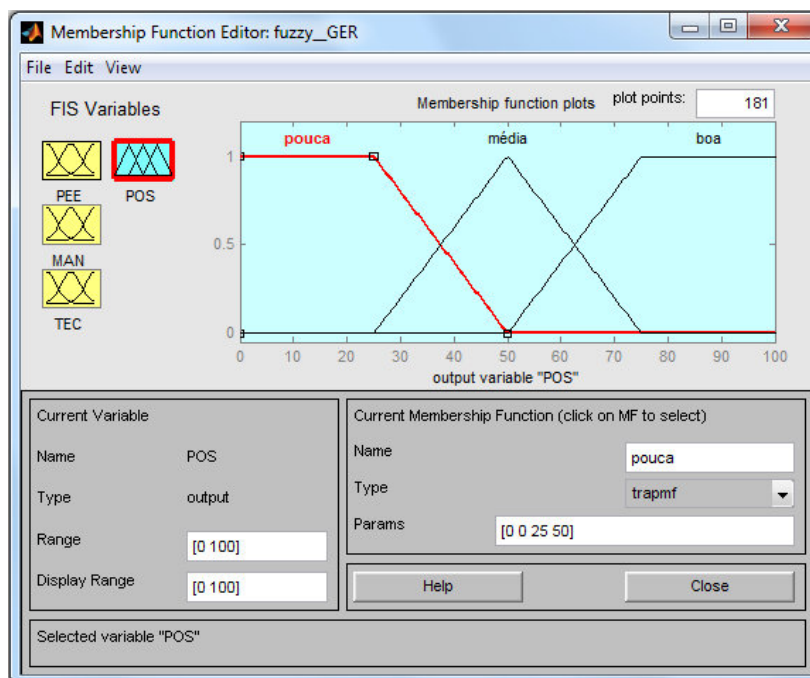


Figura 63. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de saída para o sistema gerencial.

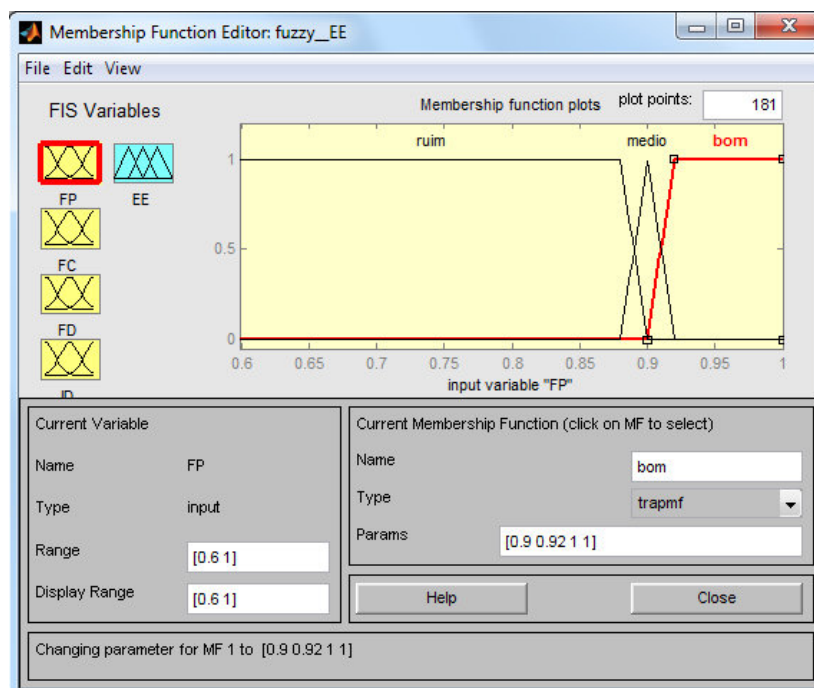


Figura 64. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de entrada para o sistema tecnológico.

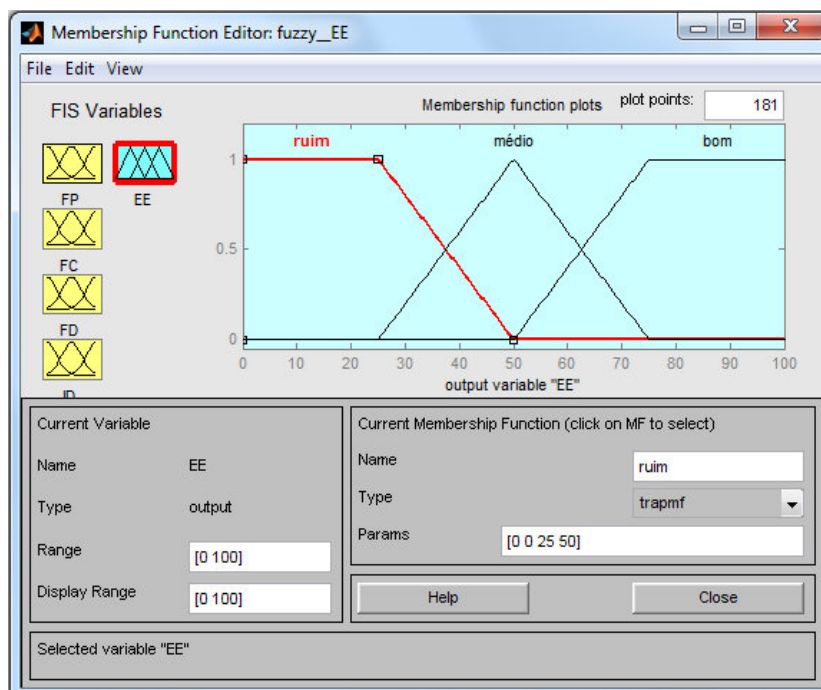


Figura 65. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de saída para o sistema tecnológico.

Em um sistema de suporte baseado na teoria fuzzy determinam-se as regras de acordo com o número de variáveis de entrada e de saída. Inúmeras regras podem ser estabelecidas para se controlar o sistema e sua inserção no sistema proposto para a parte gerencial está ilustrado na Figura 66 e para a parte tecnológica na Figura 67.

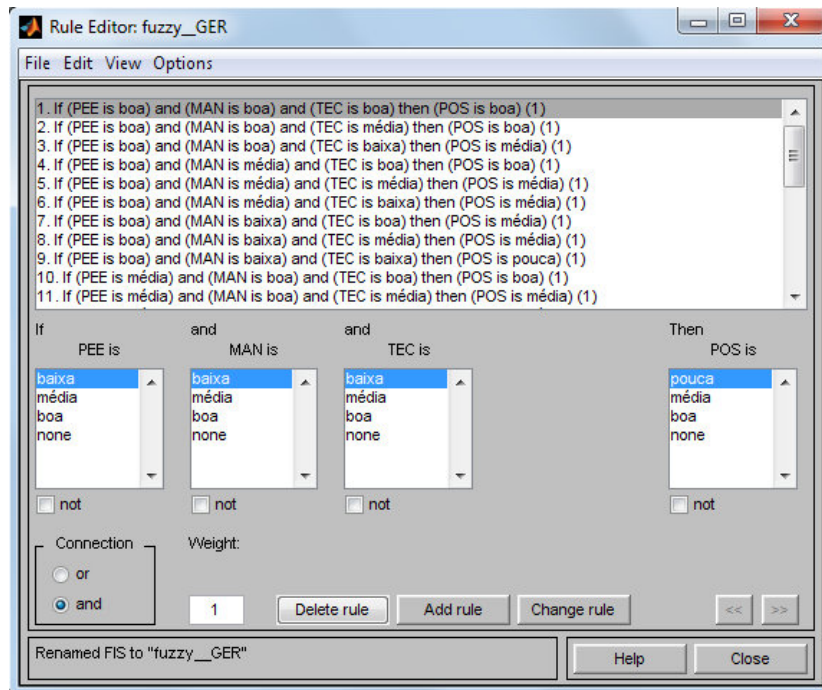


Figura 66. Base de regras para o sistema de suporte gerencial.

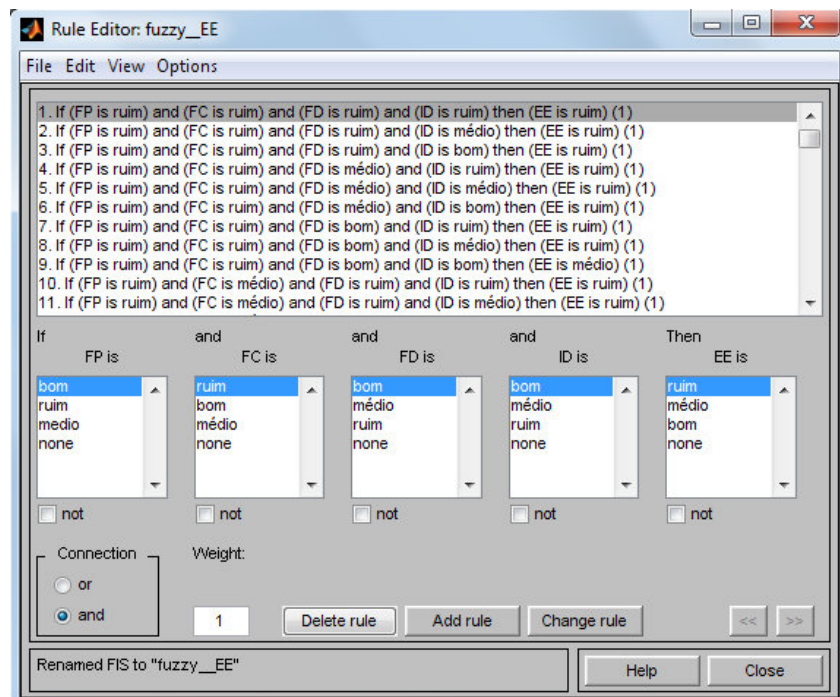


Figura 67. Base de regras para o sistema de suporte tecnológico.

Na construção de cada regra definiu-se a conexão entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída, através dos operadores lógicos. Após a inserção de todas as regras tem-se a formação do sistema de controle fuzzy.

A partir da base regras pode-se gerar superfície de resposta dos sistemas de suporte fuzzy propostos.

Para o sistema gerencial são apresentadas as variáveis de entrada “Práticas de eficiência energética (PEE)” e “Corpo técnico qualificado (TEC)” e a resposta “Possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS)”.

A variável “Manutenção das instalações e equipamentos (MAN)” teve seus valores fixados para as simulações em “pouca, média e boa”. Pode-se visualizar as superfícies geradas nas Figuras 68, 69 e 70.

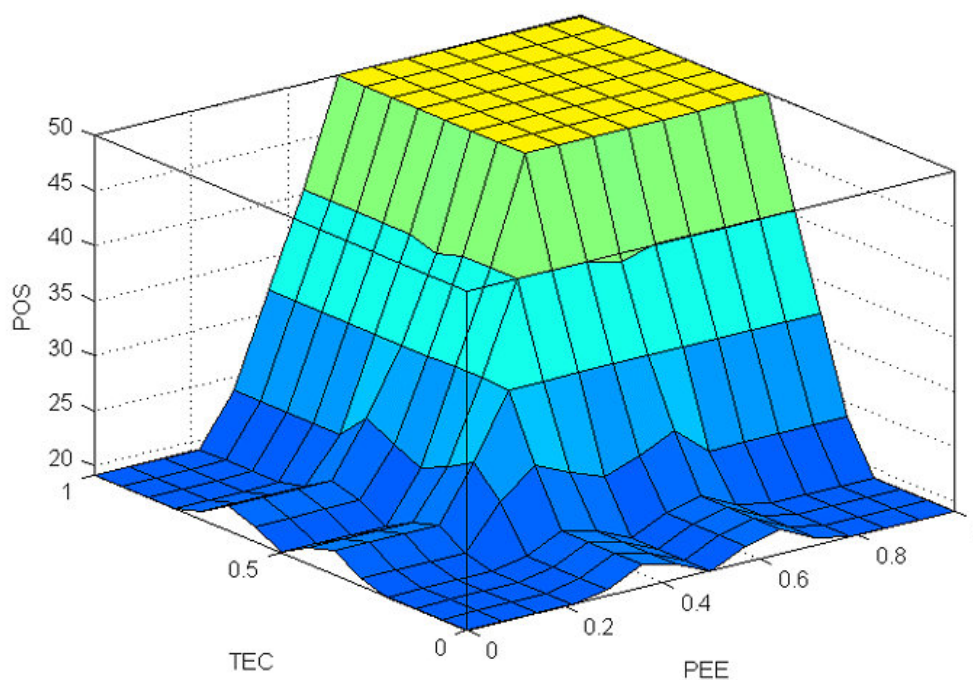


Figura 68. Superfície de resposta para o sistema de suporte gerencial(MAN=pouca).

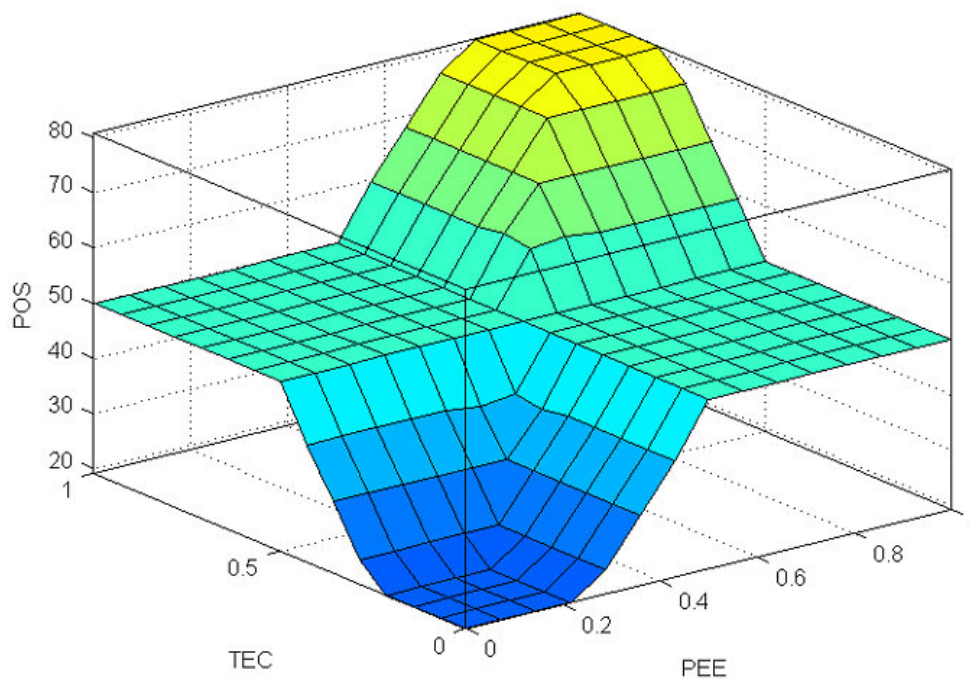


Figura 69. Superfície de resposta para o sistema de suporte gerencial (MAN=média).

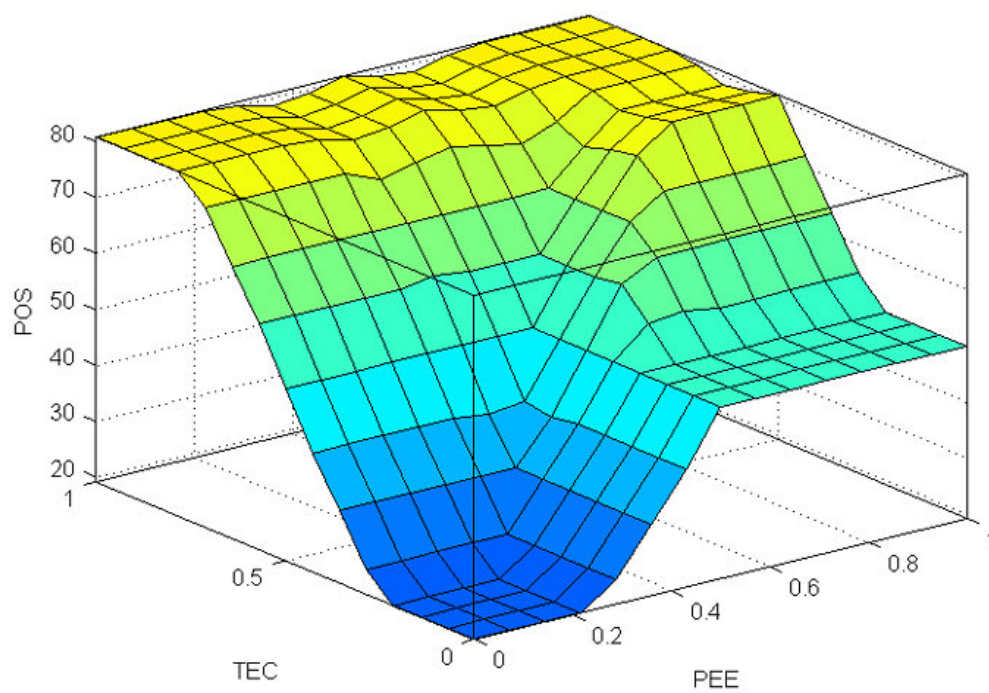


Figura 70. Superfície de resposta para o sistema de suporte gerencial (MAN=boa).

Para o sistema de suporte tecnológico são apresentadas as variáveis de entrada “Fator de potência (FP)” e “Fator de carga (FC)” e a resposta “Nível de eficiência energética (EE)”.

A variável “Fator de demanda (FD)” teve seus valores fixados para as simulações em “ruim, médio e bom”. A variável “Consumo específico (CE)” teve seu valor fixado em médio. Pode-se visualizar as superfícies geradas nas Figuras 71, 72 e 73.

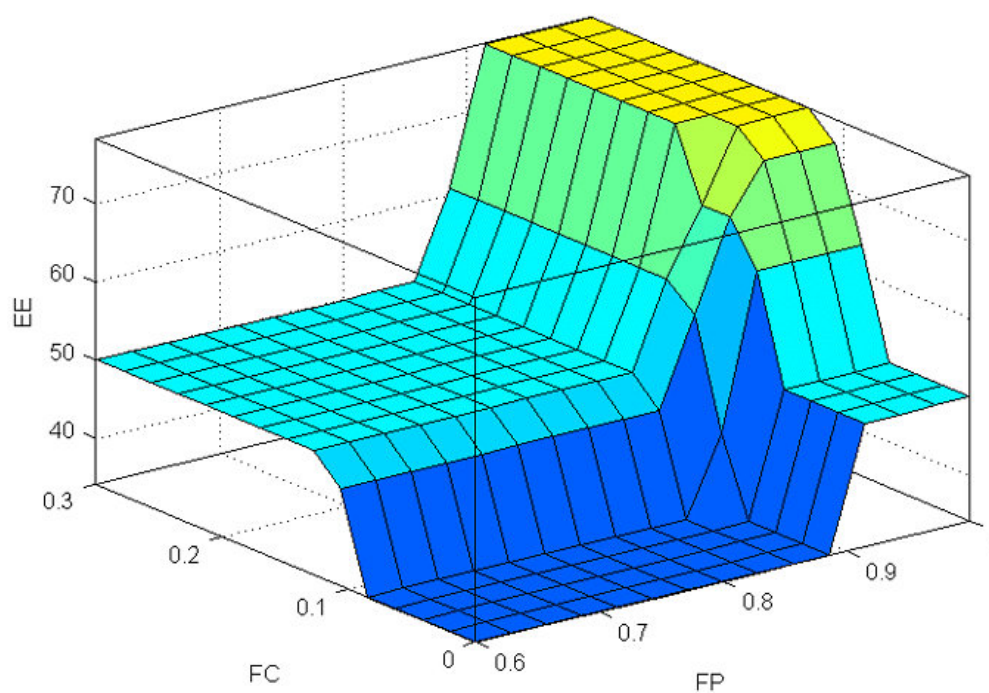


Figura 71. Superfície de resposta para o sistema de suporte tecnológico (FD=baixo e CE=médio).

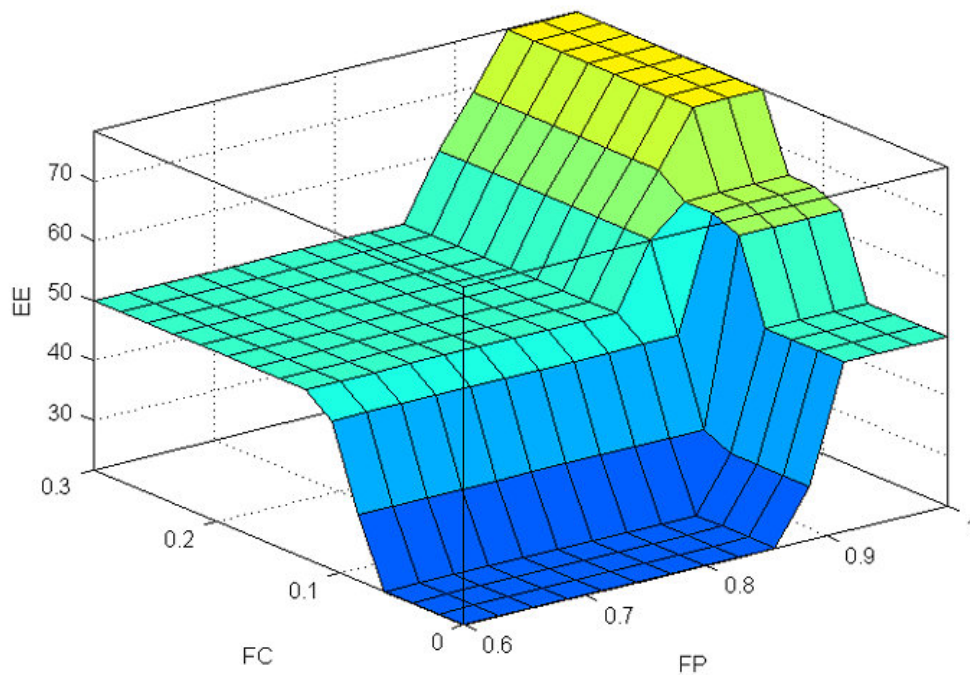


Figura 72. Superfície de resposta para o sistema de suporte tecnológico (FD=médio e CE=médio).

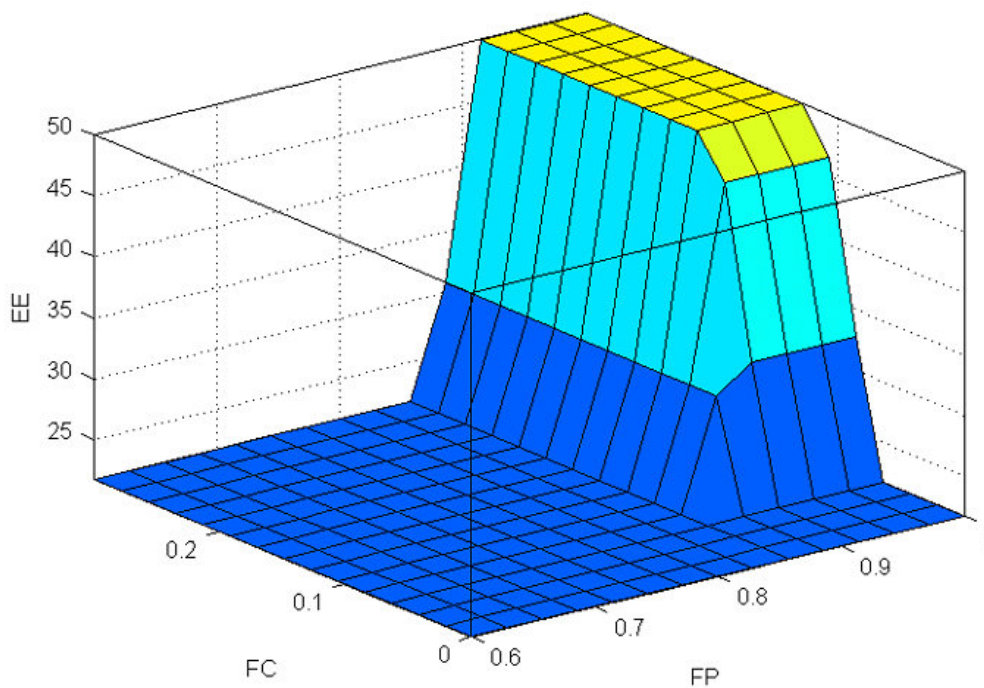


Figura 73. Superfície de resposta para o sistema de suporte tecnológico (FD=bom e CE=médio).

5.4.1. Estudo de Caso Utilizando o Sistema de Suporte Fuzzy Gerencial

Como exemplo de funcionamento do sistema de suporte, pode-se atribuir para o sistema gerencial proposto, os seguintes parâmetros observados na serraria B, para as variáveis de entrada do sistema:

- a) Práticas de eficiência energética (PEE): baixa
- b) Manutenção de instalações e equipamentos (MAN): boa
- c) Corpo técnico qualificado (TEC): baixa

Na Figura 74 são mostrados os valores inseridos no fuzzy gerencial conforme o exemplo e a sua resposta através da variável de saída.

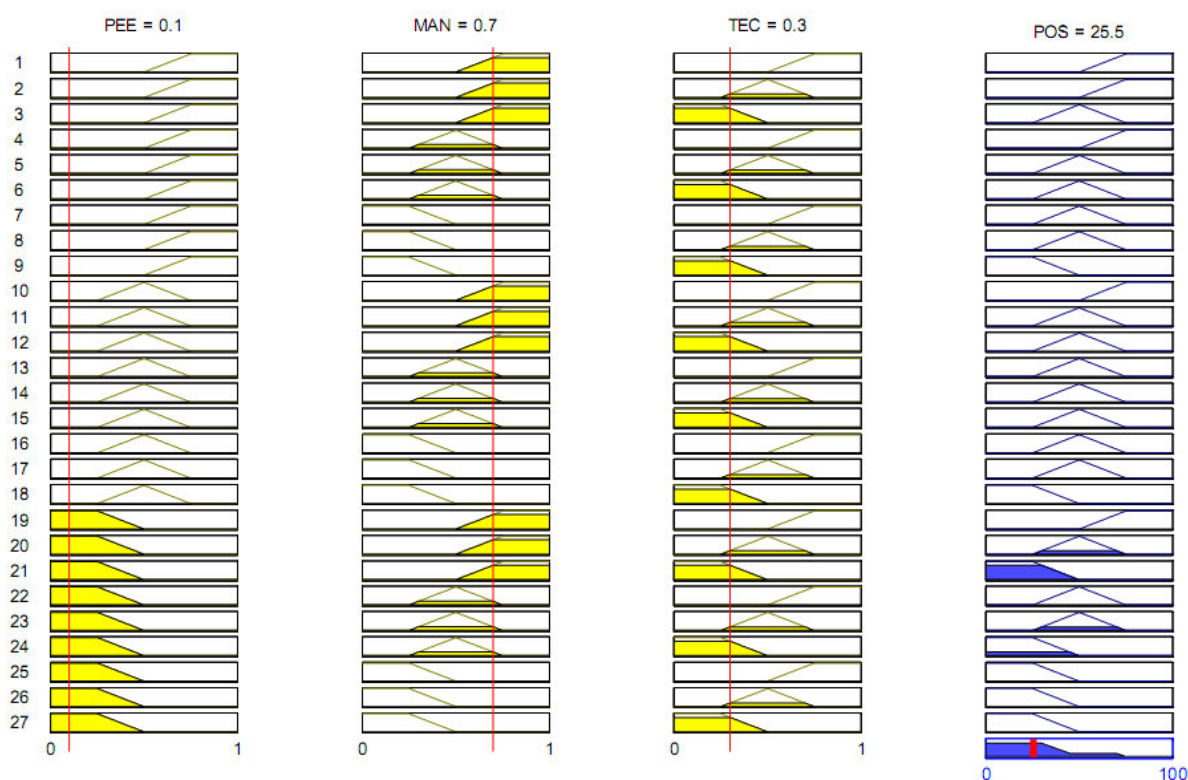


Figura 74. Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy gerencial. Variáveis de entrada e de saída. 1 - Valor numérico de saída (25,5)

Aplicando-se o método do centro de gravidade tem-se um valor numérico de saída (25,5), que representa variável ainda no domínio Fuzzy. O resultado será a possibilidade de aumento de eficiência energética e assim se completa a defuzzificação e conseqüente tomada de decisão.

Observando a Figura 75 que ilustra a variável de saída - possibilidade de aumento eficiência energética - pode-se fazer a “tradução” dessa variável de saída do domínio fuzzy para o domínio lingüístico.

Este valor significa que a serraria tem pouca possibilidade de aumento de eficiência energética de acordo com os dados inseridos no sistema de suporte fuzzy gerencial.

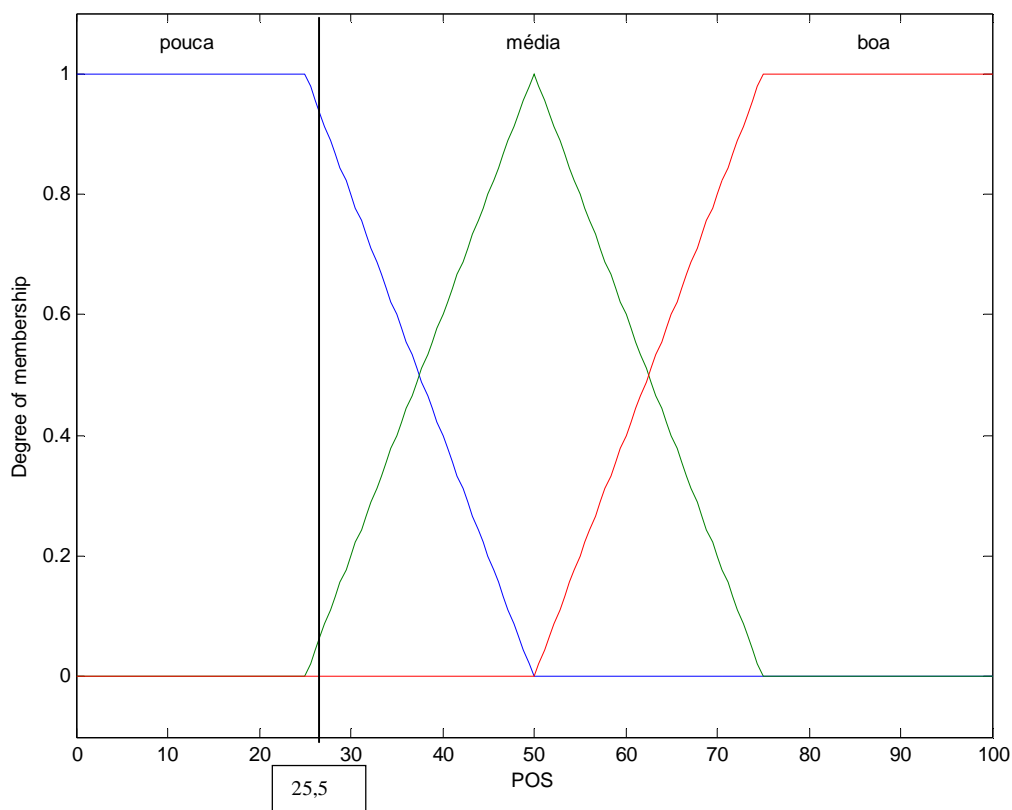


Figura 75. Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy gerencial. Variável de saída e significado do valor numérico de saída (25,5).

5.4.2. Estudo de Caso Utilizando o Sistema de Suporte Fuzzy Tecnológico

Como exemplo de funcionamento do sistema de suporte tecnológico, pode-se atribuir para o sistema gerencial proposto os valores observados na serraria B no mês de março de 2010, para as variáveis de entrada do sistema:

- a) Fator de potência (FP): 0,89
- b) Fator de carga (FC): 0,14
- c) Fator de demanda (FD): 0,46
- d) Consumo específico (CE): 14,6 [kWh.m³]

Na Figura 76 são mostrados os valores inseridos no sistema de suporte fuzzy tecnológico conforme o exemplo e a sua resposta através da variável de saída.

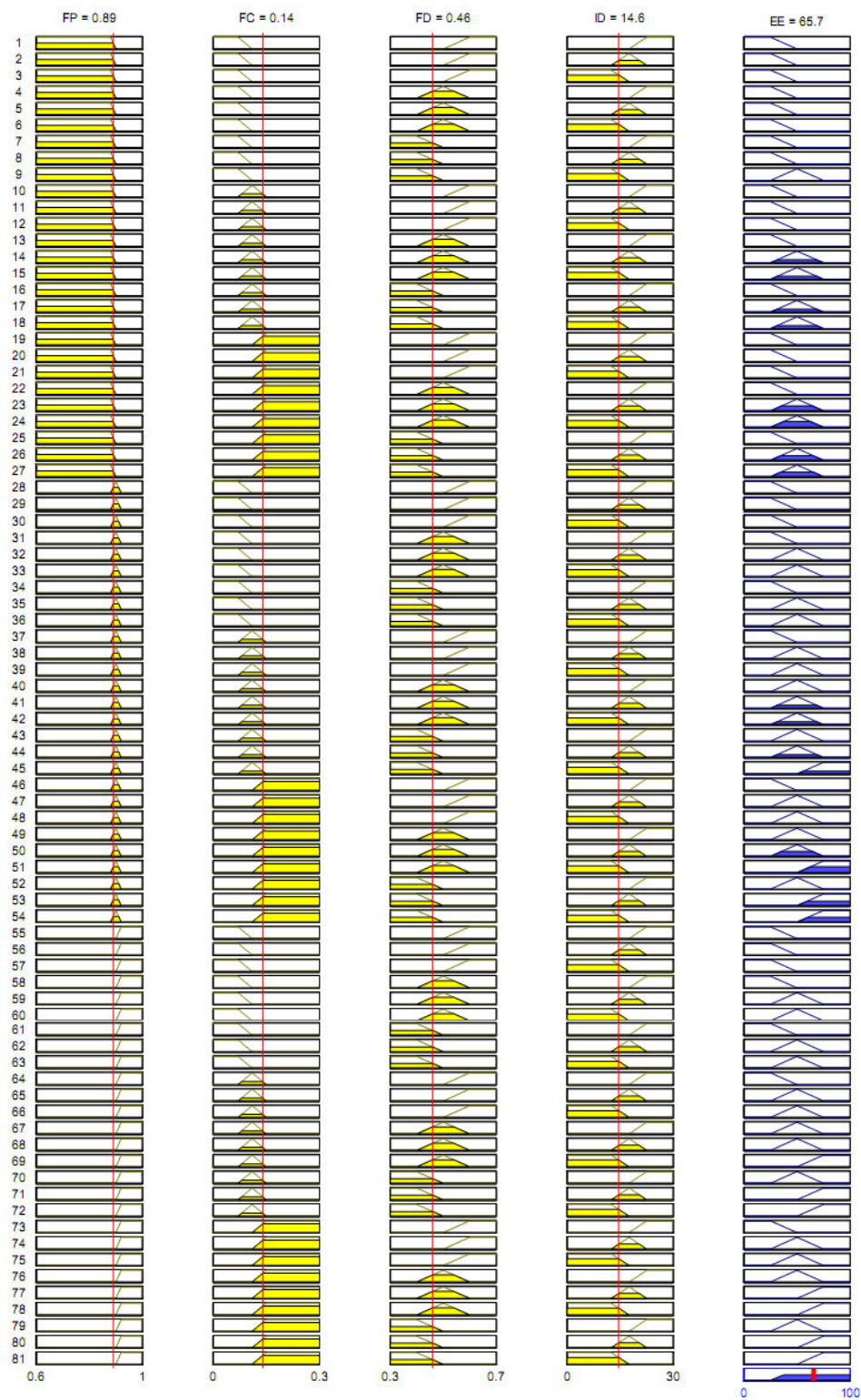


Figura 76. Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy tecnológico. Variáveis de entrada e de saída. 1 - Valor numérico de saída (65,7)

Aplicando-se o método do centro de gravidade tem-se um valor numérico de saída (65,7), que nada mais é que a variável ainda no domínio Fuzzy. O resultado será o nível de eficiência energética e assim se completa a defuzzificação e conseqüente tomada de decisão.

Observando a Figura 77 que ilustra a variável de saída - nível de eficiência energética - pode-se fazer a “tradução” dessa variável de saída do domínio fuzzy para o domínio lingüístico.

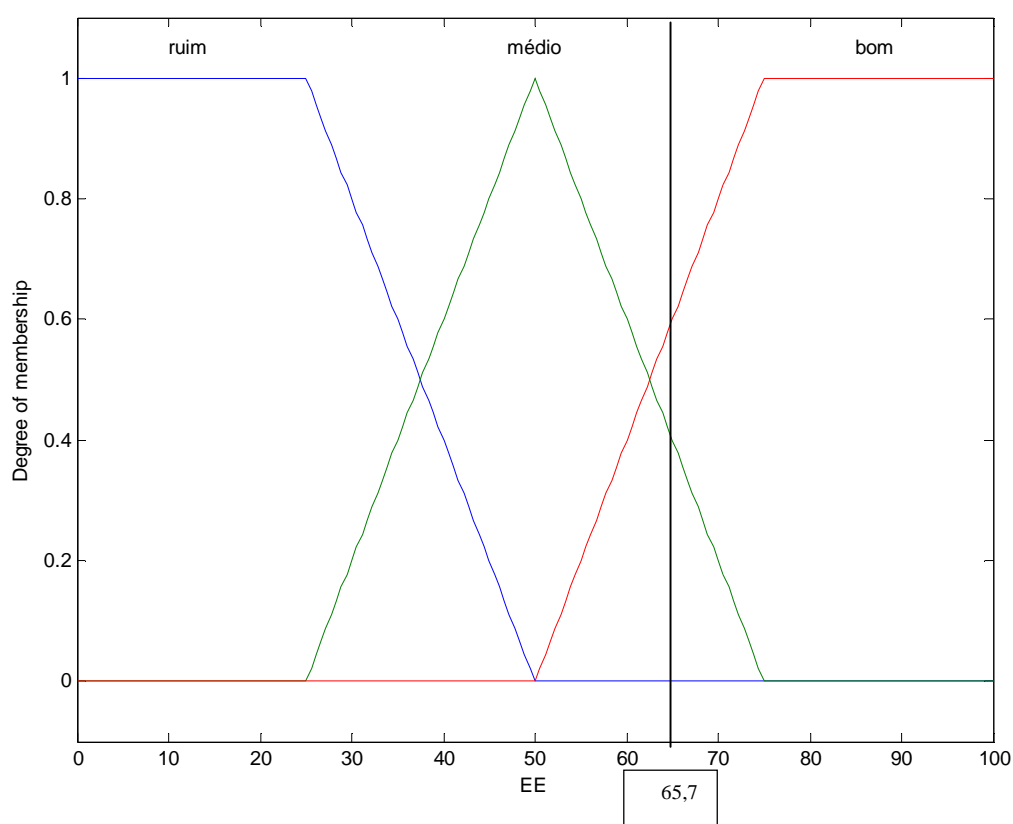


Figura 77. Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy tecnológico. Variável de saída e significado do valor numérico de saída (65,7).

Este valor significa que a serraria está entre um médio e um bom nível de eficiência energética de acordo com os dados inseridos no fuzzy tecnológico.

5.4.3. Análise das Serrarias Utilizando os Sistemas de Suporte Gerencial e Tecnológico

Utilizando os sistemas de suporte desenvolvidos, são apresentados a seguir os resultados obtidos para cada uma das serrarias envolvidas neste estudo, a partir da verificação dos valores lingüísticos e numéricos das variáveis de entrada.

A constatação de um valor baixo ou médio das variáveis de entrada do gerencial indica a necessidade a atuação e correção desta variável.

Para o sistema de suporte tecnológico, os níveis dos valores devem estar próximos aos já estabelecidos e, caso não estejam, há a necessidade de ações de correção, para que se aumente o nível de eficiência energética.

5.4.3.1 Serraria A

As variáveis do sistema de suporte gerencial têm os seguintes valores, neste caso, lingüísticos:

- a) Práticas de eficiência energética (PEE): baixa
- b) Manutenção de instalações e equipamentos (MAN): baixa
- c) Corpo técnico qualificado (TEC): média

A resposta do sistema de suporte indica que esta serraria tem baixa possibilidade de aumento de eficiência energética. É necessário trabalhar principalmente as variáveis PEE e MAN para que se aumente esta possibilidade.

Para o sistema de suporte tecnológico as variáveis tem os seguintes valores numéricos:

- d) Fator de potência (FP): 0,88
- e) Fator de carga (FC): 0,11
- f) Fator de demanda (FD): 0,42
- g) Consumo específico (CE): 21,9 [kWh/m³]

A resposta do sistema de suporte tecnológico indica que a serraria tem um baixo nível de eficiência energética. Para se aumentar o nível é necessária ação nas variáveis medidas.

Para esta serraria são necessárias ações inicialmente ações na parte gerencial, sem as quais não há chances de melhoria nos níveis de eficiência energética.

5.4.3.2 Serraria B

As variáveis do sistema de suporte gerencial têm os seguintes valores, neste caso, lingüísticos:

- a) Práticas de eficiência energética (PEE): média
- b) Manutenção de instalações e equipamentos (MAN): boa
- c) Corpo técnico qualificado (TEC): média

A resposta do sistema de suporte indica que esta serraria tem média possibilidade de aumento de eficiência energética. Embora uma das variáveis esteja “boa”, é necessária a melhoria das outras variáveis para que se aumente esta possibilidade.

Para o sistema de suporte tecnológico as variáveis têm os seguintes valores numéricos:

- a) Fator de potência (FP): 0,89
- b) Fator de carga (FC): 0,15
- c) Fator de demanda (FD): 0,49
- d) Consumo específico (CE): 15,6 [kWh/m³]

A resposta do sistema de suporte tecnológico indica que a serraria tem um médio nível de eficiência energética.

Com poucas ações de ordem gerencial, existe grande possibilidade do aumento do nível de eficiência energética nesta serraria.

5.4.3.3 Serraria C

As variáveis do sistema de suporte gerencial têm os seguintes valores, neste caso, lingüísticos:

- a) Práticas de eficiência energética (PEE): média
- b) Manutenção de instalações e equipamentos (MAN): boa
- c) Corpo técnico qualificado (TEC): média

A resposta do sistema de suporte indica que esta serraria tem média possibilidade de aumento de eficiência energética. Ações nas três variáveis podem aumentar esta possibilidade.

Para o sistema de suporte tecnológico as variáveis têm os seguintes valores numéricos:

- a) Fator de potência (FP): 0,89
- b) Fator de carga (FC): 0,14
- c) Fator de demanda (FD): 0,54
- d) Consumo específico (CE): 12,0 [kWh/m³]

A resposta do sistema de suporte tecnológico indica que a serraria tem um médio nível de eficiência energética. Para se aumentar o nível é necessária ação nas variáveis.

Os indicadores gerenciais nesta serraria estão em bons níveis, então com poucas mudanças gerenciais, há forte possibilidade de haver aumento do nível de eficiência energética.

5.4.3.4 Serraria D

As variáveis do sistema de suporte gerencial têm os seguintes valores, neste caso, lingüísticos:

- a) Práticas de eficiência energética (PEE): baixa

- b) Manutenção de instalações e equipamentos (MAN): média
- c) Corpo técnico qualificado (TEC): baixa

A resposta do sistema de suporte indica que esta serraria tem baixa possibilidade de aumento de eficiência energética. É necessário que se atue nas três variáveis para aumentar possibilidade de aumento do nível de eficiência energética.

Para o sistema de suporte tecnológico as variáveis têm os seguintes valores numéricos:

- a) Fator de potência (FP): 0,89
- b) Fator de carga (FC): 0,13
- c) Fator de demanda (FD): 0,43
- d) Consumo específico (CE): 20,0 [kWh/m³]

A resposta do sistema de suporte tecnológico indica que a serraria tem um baixo nível de eficiência energética. Para se aumentar o nível é necessária ação nas variáveis aferidas.

Esta serraria necessita de ações de ordem gerencial, para que exista alguma possibilidade do aumento do nível de eficiência energética.

5.4.3.5 Serraria E

As variáveis do sistema de suporte gerencial têm os seguintes valores, neste caso, lingüísticos:

- a) Práticas de eficiência energética (PEE): baixa
- b) Manutenção de instalações e equipamentos (MAN): média
- c) Corpo técnico qualificado (TEC): média

A resposta do sistema de suporte indica que esta serraria tem média possibilidade de aumento de eficiência energética. É necessário trabalhar as variáveis para que se aumente esta possibilidade.

Para o sistema de suporte tecnológico as variáveis têm os seguintes valores numéricos:

- a) Fator de potência (FP): 0,88
- b) Fator de carga (FC): 0,13
- c) Fator de demanda (FD): 0,50
- d) Consumo específico (CE): 19,7 [kWh/m³]

A resposta do sistema de suporte tecnológico indica que a serraria tem um baixo nível de eficiência energética. Para se aumentar o nível é necessária ação nas variáveis aferidas.

Com algumas mudanças de ordem gerencial, existe possibilidade de aumento do nível de eficiência energética nesta serraria.

5.4.4. Síntese dos Indicadores

A Tabela 31 mostra a síntese da análise da situação das serrarias a partir da aplicação dos sistemas de suporte gerencial e tecnológico:

Tabela 31. Comparação dos rendimentos, índices e fatores médios das serrarias através dos sistemas de suporte fuzzy.

| | <i>Sistema de Suporte Gerencial</i> | <i>Sistema de Suporte Tecnológico</i> |
|-------------------|---|---------------------------------------|
| | Possibilidade de aumento de eficiência energética | Nível de eficiência energética |
| Serraria A | baixa | baixo |
| Serraria B | média | médio |
| Serraria C | média | médio |
| Serraria D | baixa | baixo |
| Serraria E | média | baixo |

As respostas são compatíveis com a síntese obtida através dos fatores e índices numéricos. Nota-se que nenhuma serraria atinge um nível classificado como “bom”.

O uso de sistema de suporte baseados fuzzy permite assim, o controle de sistemas por meio de informações qualitativas, sem necessidade de modelar o sistema. É

importante ressaltar que à medida que o sistema ou o número de variáveis aumenta, são necessárias mais regras de controle buscando-se abranger a complexidade do proposto.

Desta forma, a grande vantagem da utilização da teoria fuzzy é a possibilidade de modelar e manipular matematicamente informações vagas, imprecisas e intermitentes, naturais da linguagem humana, e que são fornecidas pelos especialistas, não matemáticos, para caracterizar os processos estudados.

Esta manipulação pode ser facilmente feita a partir da junção das variáveis escolhidas para modelar matematicamente o sistema proposto, quando a implicação das variáveis independentes nas dependentes é estabelecida por um conjunto de regras lingüísticas baseadas no conhecimento de especialistas.

A intenção de obter do sistema de suporte fuzzy um comportamento semelhante ao do ser humano foi atingida, visto que ele fornece as respostas esperadas, considerando válidas as características das funções de pertinência e regras que lhe foram atribuídas.

O que se pode constatar é que o controle fuzzy, que é uma das partes mais aprofundadas da teoria de conjuntos fuzzy, possibilita controlar tanto a parte gerencial, quanto a parte tecnológica.

Além disso, com a aplicação dos sistemas de suporte propostos, espera-se obter uma melhora do aproveitamento das instalações e equipamentos elétricos, com conseqüente melhoria na qualidade do produto, além de uma redução do consumo energético e conseqüente aumento da produtividade.

6. CONCLUSÕES

A indústria madeireira, especificamente as serrarias, tem possibilidade de agregar valor aos produtos e diminuir custos de produção. O que foi desenvolvido neste trabalho pode atuar neste sentido e contribuir para uma aproximação entre o meio acadêmico e os empresários deste setor.

O estabelecimento e uso de indicadores específicos para a atividade industrial madeireira, sejam eles índices, fatores ou consumos, é fundamental para que inicie um programa de eficiência energética, pois podem monitorar o impacto desses programas além de motivar os usuários da instalação a usar racionalmente a energia.

A intenção de utilizar índices de eficiência e analisá-los através da lógica fuzzy foi contribuir significativamente para as empresas do setor industrial madeireiro, pois estimula o bom uso da energia elétrica, o que trás benefícios, tanto redução de custos, quanto ambientais, pois menos energia necessitará ser gerada.

O uso de sistemas baseados fuzzy permite o controle através informações qualitativas, sem necessidade de modelar o sistema. Os sistemas de suporte desenvolvidos permitiram indicar se os níveis de eficiência energética estão variando nas serrarias.

Estes sistemas podem ser utilizados por qualquer tipo de empresa, bastando apenas que se alterem os valores do consumo específico, fator de carga e fator de

demanda, que devem ser característicos da atividade industrial envolvida para que se possa fazer o acompanhamento das melhorias na conservação de energia.

Ações como enquadramentos tarifários e análises econômicas podem ser utilizadas em conjunto com os métodos propostos neste trabalho. Além disso, a elaboração de um programa computacional para implantação dos sistemas de suporte sem a necessidade do uso do MATLAB para os diagnósticos, pode ser implementada em alguma linguagem de programação, como o JAVA, por exemplo. O código fonte utilizado nos sistemas de suporte gerencial e tecnológico pode ser consultado no apêndice.

7. REFERÊNCIAS

ABRÃO NETO, F. **Diagnóstico informatizado de eficiência energética**: uma proposta às agroindústrias. 2004. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução normativa n. 300, de 12 de fevereiro de 2008. Estabelece critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, v. 145, n. 36, p. 53, 22 fev. 2008. Seção 1.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução normativa n. 456, de 29 de novembro de 2000. Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, v. 138, n. 230-E, p. 35, 30 nov. 2000. Seção 1.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas de fornecimento de energia elétrica**. Brasília, DF, 2005. 30 p.

AGUIAR, W. M. **O uso de fontes alternativas de energia como fator de desenvolvimento social para segmentos marginalizados da sociedade**. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Produtividade e perdas**. Curitiba, 2003. 3 p. (Artigo técnico, n. 6).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2004**. Curitiba, 2004a. 52 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Fluxograma de produção de madeira serrada**. Curitiba, 2004b. 3 p. (Artigo técnico, n. 18).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Resíduos de madeira geradores de receita**. Curitiba, 2004c. 3 p. (Artigo técnico, n. 4).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2007**. Curitiba, 2007. 44 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **O que é eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/eficiencia.html>>. Acesso em: 29 abr. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2009**: ano base 2008. Brasília, DF, 2009. 120 p.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE EMPRESAS DE GESTÃO E RECUPERAÇÃO DE CRÉDITOS. **Energy efficiency indicators: a study of energy efficiency indicators in APEC economies**. Tokyo, 2001. 154 p.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371-380, maio/jun. 2003.

BARBOSA, J. C. **Caracterização e avaliação do fluxo produtivo da habitação em madeira de plantios florestais segundo indicadores de sustentabilidade**: consumo de energia e resíduos gerados. 2003. 117 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BARROS, L. C.; SOUZA, A. L.; AMENDOLA, M. **Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5**. Campinas: Unicamp; Feagri & Imecc, 2005. 46 p.

BELLMAN, R. E.; ZADEH, L. A. Decision-making in a fuzzy environment. **Management Science**, Berkeley, v. 17, n. 4, p. B141-p. B164, Dec. 1970.

BONDUELLE, G. M. **Avaliação e análise dos custos da má qualidade na indústria de painéis de fibras**. 1997. 288 f. Tese (Doutorado Engenharia de Produção e Sistemas)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BRAGA, M. J. F.; BARRETO, J. M.; MACHADO, M. A. S. **Conceitos da matemática nebulosa na análise de risco**. Rio de Janeiro: Artes & Rabiscus, 1995. 95 p.

CAGNON, J. A.; VALARELLI, I. D. **Programa de gestão energética em indústrias madeiras.** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2005, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2005. p. 1-7.

CALIL JÚNIOR, C. O potencial do uso de madeira de *Pinus* na construção civil. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 60, p. 44-48, 2002.

CANEPPELE, F. L. **Desenvolvimento de um modelo fuzzy para otimização da energia gerada por um sistema híbrido (solar- fotovoltaico e eólico).** 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

CAPELLI, A. **Energia elétrica para sistemas automáticos da produção.** São Paulo: Érica, 2007. 320 p.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA. **Especificação E-321.0001:** padronização de entrada de energia elétrica de unidades consumidoras de baixa tensão. Florianópolis, 2007. 106 p.

CIMA, F. M. **Utilização de indicadores energéticos no planejamento energético integrado.** 2006. 195 p. Dissertação (Mestrado Ciências em Planejamento Energético)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Manual de eficiência energética na indústria.** Curitiba, 2005. 139 p.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Eficiência energética:** curso para otimização do uso de energia na indústria. Bauru, 2006. 105 p.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Fornecimento em tensão primária 15kV e 25kV.** Campinas, 2008b. v. 1, 80 p.

CRUZ, L. F. **Modelo fuzzy para obtenção do tempo de aeração em silos verticais visando reduzir o consumo de energia elétrica.** 2001. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

EICHHAMMER, W.; MANNSBART, W. Industrial energy efficiency: indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry. **Energy Policy**, Maryland Heights, v. 25, n. 7-9, p. 759-772, 1997.

ELEKTRO. **Fornecimento de energia elétrica em tensão primária de distribuição**. Campinas, 2009. 181 p.

ELETROBRÁS. **Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. 2. ed. Itajubá: EFEI, 2001. 467 p.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no rio grande do sul**. 2003. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERREIRA, J. J.; FERREIRA, T. J. **Economia e gestão da energia**. Lisboa: Texto, 1994. 156 p.

GABRIEL, C. P. C. **Aplicação da Lógica Fuzzy para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. 2008. 97 f Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

GABRIEL, L. R. A. **Análise da racionalização do uso de energia elétrica através hiperbolóides de carga e potência em operações de processamento de arroz (*Oryza sativa*, L.)**. 1994. 289 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

GABRIEL, L. R. A. **Análise do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda através de hiperbolóides de carga e potência em operações de refino de óleo vegetal**. 1997. 312 p. Tese (Livre Docência em Matemática)-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1997.

GARCIA, A. G. P. **Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria**. 2003. 127 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

GELLER, H. S. **Revolução energética**: políticas para um futuro sustentável. Rio de Janeiro: Relume Dumará; USAid, 2003. 299 p.

GOMIDE, J. L. **Serraria**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1974. 119 p.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: USC, 2000. 242 p.

GUERREIRO, A. G. et al. A eficiência como recurso de planejamento energético no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 119-130, jun. 2009.

HADDAD, J. A lei de eficiência energética e o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética para equipamentos no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 119-130, 2005.

HAMMEL II, R. J. **Fuzzy logic**. 1990. Disponível em:
<<http://www.arl.army.mil/www/default.cfm>>. Acesso em: 18 ago. 2008.

KRONKA, F. J. N. et al. **Inventário florestal das áreas reflorestadas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal de São Paulo, 2002. 183 p.

MANZINE, L. G. **Enquadramento tarifário de energia elétrica em agroindústria utilizando teoria fuzzy**. 2004. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

MCNEILL, D.; FREIBERGER, P. **Fuzzy logic**. New York: Touchstone and Colophon, 1994. 320 p.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e de partículas. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 53, p. 14-22, 2000.

MURARA JÚNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. **Rendimento em madeira serrada de pinus para desdobro**. Disponível em:
<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=963&subject=Desdobro&

title=Rendimento%20em%20madeira%20serrada%20de%20pinus%20para%20desdobro>.
Acesso em: 19 ago. 2010.

NETO, M. C. Pinus: base de matéria prima madeireira. **Revista da Madeira**, Curitiba, p. 10-15, 2002. Especial Pinus.

NOGUEIRA, L. A. H. Uso racional: a fonte energética oculta. **Estudos Avançados**, São Paulo, n. 21, p. 91-105, fev. 2007.

PONCE, R. H. Novas tecnologias de desdobro e beneficiamento de madeira: a busca da competitividade. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBEF; SBBF, 1993. p. 310-314.

POOLE, A. D.; HOLLANDA, J. B.; TOLMASQUIM, M. T. **Os caminhos da eficiência energética no Brasil**. Rio de Janeiro: INEE; ESMAP, 1994. 40 p.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de tarifação de energia elétrica**. Brasília, DF, 2001. 44 p.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **O selo PROCEL**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/elb/procel/>>. Acesso em: 16 maio 2010.

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. **Controle e modelagem Fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2001. 200 p.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=952&subject=Espécies&title=Pinus%20na%20silvicultura%20brasileira>. Acesso em: 19 mar. 2010.

SILVA, M. A. B. **Sistema de classificação fuzzy para áreas contaminadas**. 2005. 221 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SOUZA, H. M. et al. Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 7-26, 2009.

SOUZA, O. T. L. **Desenvolvimento de um modelo fuzzy para determinação do calor latente com aplicação em sistemas de irrigação.** 2004. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

TERANO, T.; ASAI, K.; SUGENO, M. **Fuzzy systems theory and its applications.** San Diego: Academic Press, 1991. 268 p.

TOLMASQUIM, M. T. et al. **Tendências da eficiência elétrica no Brasil:** indicadores de eficiência energética. Rio de Janeiro: Sirius, 1998. 167 p.

TOMASELLI, I. Tecnologia da madeira no Brasil: evolução e perspectiva. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 20, p. 101-112, 2000.

TURKSEN, I. B. Measurement of fuzziness: interpretation of the axioms of measure. In: CONFERENCE ON FUZZY INFORMATION AND KNOWLEDGE REPRESENTATION FOR DECISION ANALYSIS, 1., 1984, Oxford. **Proceedings...** Oxford: IFAC, 1984. p. 97-102.

VIEIRA, S. **Elementos de estatística.** Campinas: Atlas, 2003. 162 p.

VON ALTROCK, C. **Fuzzy logic and neuro-fuzzy applications explained.** Kent: Prentice, 1995. 368 p.

WEG. **Manual para correção do fator de potência.** Disponível em: <<http://www.weg.net/files/products/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2010.

WEG. **Motores elétricos:** linhas de produtos, características, especificações, instalações e manutenções. Jaraguá do Sul, 2009. 145 p. Disponível em: <<http://catalogo.weg.com.br>>. Acesso em: 19 abr. 2010.

YUBA, A. N. **Cadeia produtiva de madeira serrada de eucalipto para produção sustentável de habitações.** 2001. 145 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes.** New York: Academic, 1975. 39 p.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications.** Dordrecht: Kluwer Nijhoff, 1985. 544 p.

APÉNDICE

Código Fonte do Fuzzy Gerencial

Os comandos abaixo podem ser utilizados para a construção e a modelagem do fuzzy gerencial proposto, para implementação em outra linguagem de programação:

```
[System]
Name='fuzzy__GER'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=3
NumOutputs=1
NumRules=27
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='PEE'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='baixa':'trapmf',[0 0 0.25 0.5]
MF2='média':'trimf',[0.25 0.5004 0.75]
MF3='boa':'trapmf',[0.5 0.75 1 1]

[Input2]
Name='MAN'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='baixa':'trapmf',[0 0 0.25 0.5]
MF2='média':'trimf',[0.25 0.5 0.75]
MF3='boa':'trapmf',[0.5 0.75 1 1]

[Input3]
Name='TEC'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='baixa':'trapmf',[0 0 0.25 0.5]
MF2='média':'trimf',[0.25 0.5016 0.75]
MF3='boa':'trapmf',[0.5 0.75 1 1]

[Output1]
Name='POS'
Range=[0 100]
NumMFs=3
MF1='pouca':'trapmf',[0 0 25 50]
MF2='média':'trimf',[25 50 75]
MF3='boa':'trapmf',[50 75 100 100]
```

[Rules]

3 3 3, 3 (1) : 1
3 3 2, 3 (1) : 1
3 3 1, 2 (1) : 1
3 2 3, 3 (1) : 1
3 2 2, 2 (1) : 1
3 2 1, 2 (1) : 1
3 1 3, 2 (1) : 1
3 1 2, 2 (1) : 1
3 1 1, 1 (1) : 1
2 3 3, 3 (1) : 1
2 3 2, 2 (1) : 1
2 3 1, 2 (1) : 1
2 2 3, 2 (1) : 1
2 2 2, 2 (1) : 1
2 2 1, 2 (1) : 1
2 1 3, 2 (1) : 1
2 1 2, 2 (1) : 1
2 1 1, 1 (1) : 1
1 3 3, 3 (1) : 1
1 3 2, 2 (1) : 1
1 3 1, 1 (1) : 1
1 2 3, 2 (1) : 1
1 2 2, 2 (1) : 1
1 2 1, 1 (1) : 1
1 1 3, 1 (1) : 1
1 1 2, 1 (1) : 1
1 1 1, 1 (1) : 1

Código Fonte do Fuzzy Tecnológico

Os comandos abaixo podem ser utilizados para a construção e a modelagem do fuzzy tecnológico proposto, para implementação em outra linguagem de programação:

```
[System]
Name='fuzzy__EE'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=4
NumOutputs=1
NumRules=81
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='FP'
Range=[0.6 1]
NumMFs=3
MF1='bom':'trapmf',[0.899537572254335 0.919537572254335 0.999537572254335
0.999537572254335]
MF2='ruim':'trapmf',[0.6 0.6 0.88 0.8999]
MF3='medio':'trimf',[0.88 0.9003 0.92]

[Input2]
Name='FC'
Range=[0 0.3]
NumMFs=3
MF1='ruim':'trapmf',[0 0 0.07 0.11]
MF2='bom':'trapmf',[0.11 0.15 0.3 0.3]
MF3='médio':'trimf',[0.07 0.11 0.15]

[Input3]
Name='FD'
Range=[0.3 0.7]
NumMFs=3
MF1='bom':'trapmf',[0.134 0.294 0.399 0.499537572254335]
MF2='médio':'trimf',[0.4 0.5 0.6]
MF3='ruim':'trapmf',[0.5 0.599421965317919 0.72 0.88]

[Input4]
Name='ID'
Range=[0 30]
NumMFs=3
MF1='bom':'trapmf],[-0.0694 -0.0694 12.4682080924856 17.5]
MF2='médio':'trimf',[12.5 17.5 22.5]
MF3='ruim':'trapmf',[17.5 22.5 30.3 30.3]
```

```
[Output1]
Name='EE'
Range=[0 100]
NumMFs=3
MF1='ruim':'trapmf',[0 0 25 50]
MF2='médio':'trimf',[25 50 75]
MF3='bom':'trapmf',[50 75 100 100]
```

```
[Rules]
2 1 3 3, 1 (1) : 1
2 1 3 2, 1 (1) : 1
2 1 3 1, 1 (1) : 1
2 1 2 3, 1 (1) : 1
2 1 2 2, 1 (1) : 1
2 1 2 1, 1 (1) : 1
2 1 1 3, 1 (1) : 1
2 1 1 2, 1 (1) : 1
2 1 1 1, 2 (1) : 1
2 3 3 3, 1 (1) : 1
2 3 3 2, 1 (1) : 1
2 3 3 1, 1 (1) : 1
2 3 2 3, 1 (1) : 1
2 3 2 2, 2 (1) : 1
2 3 2 1, 2 (1) : 1
2 3 1 3, 1 (1) : 1
2 3 1 2, 2 (1) : 1
2 3 1 1, 2 (1) : 1
2 2 3 3, 1 (1) : 1
2 2 3 2, 1 (1) : 1
2 2 3 1, 1 (1) : 1
2 2 2 3, 1 (1) : 1
2 2 2 2, 2 (1) : 1
2 2 2 1, 2 (1) : 1
2 2 1 3, 1 (1) : 1
2 2 1 2, 2 (1) : 1
2 2 1 1, 2 (1) : 1
3 1 3 3, 1 (1) : 1
3 1 3 2, 1 (1) : 1
3 1 3 1, 1 (1) : 1
3 1 2 3, 1 (1) : 1
3 1 2 2, 2 (1) : 1
3 1 2 1, 2 (1) : 1
3 1 1 3, 1 (1) : 1
3 1 1 2, 2 (1) : 1
3 1 1 1, 2 (1) : 1
3 3 3 3, 1 (1) : 1
3 3 3 2, 2 (1) : 1
3 3 3 1, 2 (1) : 1
3 3 2 3, 2 (1) : 1
3 3 2 2, 2 (1) : 1
3 3 2 1, 2 (1) : 1
3 3 1 3, 2 (1) : 1
3 3 1 2, 2 (1) : 1
3 3 1 1, 3 (1) : 1
```

3 2 3 3, 1 (1) : 1
3 2 3 2, 2 (1) : 1
3 2 3 1, 2 (1) : 1
3 2 2 3, 2 (1) : 1
3 2 2 2, 2 (1) : 1
3 2 2 1, 3 (1) : 1
3 2 1 3, 2 (1) : 1
3 2 1 2, 3 (1) : 1
3 2 1 1, 3 (1) : 1
1 1 3 3, 1 (1) : 1
1 1 3 2, 1 (1) : 1
1 1 3 1, 1 (1) : 1
1 1 2 3, 1 (1) : 1
1 1 2 2, 2 (1) : 1
1 1 2 1, 2 (1) : 1
1 1 1 3, 1 (1) : 1
1 1 1 2, 2 (1) : 1
1 1 1 1, 2 (1) : 1
1 3 3 3, 1 (1) : 1
1 3 3 2, 2 (1) : 1
1 3 3 1, 2 (1) : 1
1 3 2 3, 2 (1) : 1
1 3 2 2, 2 (1) : 1
1 3 2 1, 3 (1) : 1
1 3 1 3, 2 (1) : 1
1 3 1 2, 3 (1) : 1
1 3 1 1, 3 (1) : 1
1 2 3 3, 1 (1) : 1
1 2 3 2, 2 (1) : 1
1 2 3 1, 2 (1) : 1
1 2 2 3, 2 (1) : 1
1 2 2 2, 3 (1) : 1
1 2 2 1, 3 (1) : 1
1 2 1 3, 2 (1) : 1
1 2 1 2, 3 (1) : 1
1 2 1 1, 3 (1) : 1